

Soluções de Tecnologias de Informação e Comunicação para Implementação do Conceito V2G

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Área de Especialização em
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

José Miguel Ribeiro Gonçalves

Orientador

Doutor Victor Daniel Neto dos Santos

Coimbra, julho, 2015

“Algo só é impossível até que alguém duvide e resolva provar o contrário.”

Albert Einstein

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda
pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

Este projeto é dedicado aos meus amigos e colegas do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica (MEE) área de especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais por sempre me terem apoiado.

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Victor Santos pela persistência, empenho, motivação e fundamentalmente pelos conselhos que sempre me acompanharam ao longo da vida académica. Agradeço também o facto de me propor desafios levando-me a explorar novas áreas, enriquecendo o meu percurso. Um muito obrigado pela disponibilidade e boa disposição com que sempre me recebeu.

Ao Professor João Pedro Trovão e ao Professor Paulo Tavares pelo contributo na realização deste projeto através da disponibilização académica e dos contactos.

Ao Eng.º João Queiró, pelo apoio, motivação, e disponibilidade na execução da placa de circuito impresso.

À Ana Batista, pelo apoio e motivação, pelas palavras de conforto e pela transmissão de confiança e força, em todos os momentos.

À minha família, em especial aos meus pais, irmã e cunhado, agradeço por depositarem em mim a vossa confiança, por sempre acreditarem em mim e no que faço e por todos os ensinamentos de vida. É com esperança que, nesta etapa que termino, possa de alguma forma retribuir e compensar todo carinho, apoio e dedicação que, consistentemente, me ofereceram. A eles, dedico este trabalho.

À Auto-Industrial S.A. - Coimbra por disponibilizar o Chevrolet Volt e a Ferreira Morais & Morais Lda – Coimbra por disponibilizar o Nissan Leaf.

RESUMO

A integração dos veículos elétricos nas redes inteligentes apresenta diversos desafios. De entre eles refira-se, os elevados valores de potência envolvida e a intrínseca mobilidade dos veículos elétricos, os quais se deslocam para além do alcance da rede inteligente de âmbito residencial. Para ultrapassar estas limitações foi proposta e implementada uma arquitetura de tecnologias de informação e comunicação. A solução proposta inclui um algoritmo de gestão de energia que visa otimizar a capacidade de armazenamento das baterias do veículo de acordo com considerações de ordem económica e técnica. Dependendo do valor do estado de carga da bateria, do preço da energia e do perfil de utilização de energia, por parte do consumidor, o algoritmo avalia as condições para concretizar o conceito *vehicle to grid*.

Para o efeito, foi desenvolvida uma solução técnica para monitorizar as baterias, nomeadamente o seu estado de carga, o seu estado de saúde, a energia disponível e o valor da potência instantânea solicitada ao longo do percurso. Para além disso, foram projetados e implementados diversos módulos eletrónicos, os quais têm por objetivo adquirir os valores anteriormente mencionados, os quais estão disponíveis a partir da rede CAN do veículo.

Os recursos dos sistemas celulares existentes (2G/3G e 4G) e das redes sem fios serão utilizados para realizar essa troca de informações crucial, em conformidade com protocolos proprietários. Os dados recolhidos são gravados numa base de dados que é acessível a diversos aplicativos do agregador de informação, do escalonador das cargas, e do operador de rede elétrica.

Finalmente, foram analisados os resultados obtidos nos testes de campo, para validar a arquitetura de tecnologias de informação e comunicação proposta. Os testes de campo foram realizados em Coimbra, usando para o efeito um veículo híbrido *plug-in*, o Chevrolet Volt, e um veículo elétrico puro, o Nissan Leaf.

Palavras-chave: *Vehicle to Grid*, Tecnologias de Informação e Comunicação, módulo de aquisição de dados, sistemas celulares, redes sem fios, CAN, Chevrolet Volt, Nissan Leaf.

ABSTRACT

The integration of electric vehicles in smart grids introduces challenges due to the high involved power values and the vehicles mobility beyond the reach of the home area network. In order to overcome these concerns a particular Information and Communication Technologies (ICT) architecture was designed and implemented. The proposed solution includes an energy management algorithm that aims to optimize the vehicle's charging and storage capabilities according to economical and technical considerations. Depending on the vehicle battery state of charge, energy price and the custom energy usage profile the algorithm evaluates the conditions, to accomplish the vehicle to grid concept.

New applications were developed to monitor the batteries' state of charge, state of health, available energy and the electric vehicle power demand along the journey. Moreover, several electronic modules have been designed and implemented to acquire the mentioned values, which are available from the vehicle's CAN buses.

Existing cellular systems (2G/3G and 4G) and wireless networks were selected to perform that crucial information exchange in accordance with proprietary protocols. The collected data is recorded in a database that is accessible to the energy scheduler, aggregator and grid operator applications.

The results retrieved from the field trial were analysed, in order to validate the designed ICT architecture. The trials have been performed in Coimbra using a plug in hybrid electric vehicle, the Chevrolet Volt, and a pure electrical vehicle, the Nissan Leaf.

Keywords: Vehicle to Grid, Information and Communication Technologies, data acquisition modules, cellular systems, wireless networks, CAN, Chevrolet Volt, Nissan Leaf.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABELAS.....	xix
ACRÓNIMOS.....	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Conceito V2G.....	3
1.1.1. Comunicação V2G.....	4
1.1.2. Serviços V2G.....	4
1.1.3. Arquitetura V2G	6
1.1.4. Agregador V2G.....	8
1.2. Objetivos e Metodologia	9
1.3. Estrutura do Documento	9
1.4. Contribuições Originais e Publicações	11
2. VEÍCULOS ELÉTRICOS	13
2.1. Introdução	13
2.2. História do Veículo Elétrico	13
2.3. Veículos Elétricos.....	16
2.3.1. Nissan Leaf.....	17
2.3.2. Chevrolet Volt	22
2.4. Baterias dos Veículos Elétricos.....	28
2.4.1. Baterias de Ni-MH.....	30
2.4.2. Baterias de Lítio.....	31
2.4.3. Estado de Carga (SOC)	33
2.4.4. Estado de Saúde (SOH).....	34
2.5. Modos de Carregamento	34
2.6. Carregadores.....	35

2.7. Conectores para Carregamento do VE	36
2.7.1. SAE J1772	37
2.7.2. Comunicação SAE J1772	39
2.7.3. CHAdeMO.....	41
2.7.4. SAE CCS	43
2.7.5. Tesla Supercharger Station.....	44
2.8. Sumário e Conclusões	45
 3. ESTADO DA ARTE: PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	 47
3.1. Introdução	47
3.2. Protocolo CAN	47
3.2.1. Arquitetura CAN.....	50
3.2.2. Barramento CAN nos Automóveis	51
3.2.3. Standard CAN (11 bit) e Extended CAN (29 bit).....	53
3.2.4. Prioridades das Mensagens CAN.....	54
3.2.5. Dicionário de dados	55
3.2.6. Exemplo de uma Rede CAN	56
3.3. CAN Bus - Chevrolet Volt	56
3.4. CAN Bus – Nissan Leaf.....	58
3.4.1. Tratamento de dados provenientes da EV-CAN.....	60
3.5. Norma ISO 15118.....	63
3.6. GSM/GPRS	64
3.7. Redes Celulares 3G/4G	66
3.8. Protocolo IEEE 802.11.....	67
3.8.1. Normas IEEE 802.11 b/g/n.....	68
3.8.2. Norma IEEE 802.11 p	69
3.8.3. IEEE 802.16.....	71
3.8.4. IEEE 802.15.1.....	72
3.9. Sumário e Conclusões	73
 4. DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA	 75
4.1. Introdução	75
4.2. Microcontroladores.....	75
4.2.1. Arduino UNO	76
4.2.2. Arduino DUE.....	77
4.2.3. Software Arduino.....	78
4.3. Microprocessadores	79
4.3.1. Raspberry Pi 2.....	79

4.3.2. Software Raspberry Pi 2.....	80
4.4. Periféricos.....	80
4.4.1. Bluetooth HC-05 e HC-06.....	80
4.4.2. GPS	83
4.4.3. Ethernet /SD Card.....	84
4.4.4. ELM 327.....	85
4.4.5. MCP 2551.....	86
4.4.6. MCP 2515.....	87
4.4.7. Módulo 1: Baseado no ELM327.....	88
4.4.8. Conector OBD-II	90
4.4.9. Módulo 2: Shield Sparkfun CAN-BUS.....	91
4.4.10. SN65HVD234.....	93
4.4.11. Módulo 3: Shield EV Dual CAN.....	94
4.5. Gestão de informação e ferramentas utilizadas.....	98
4.5.1. Funcionalidades	99
4.5.2. Servidor	99
4.5.3. Linguagem de programação	101
4.6. Sumário e Conclusões	103
5. RESULTADOS DOS TESTES DE CAMPO	105
5.1. Chevrolet Volt	105
5.2. Nissan Leaf.....	108
5.2.1. Análises da viabilidade económica do V2G.....	118
5.3. Sumário e Conclusões	121
6. CONCLUSÕES	123
6.1. Desenvolvimentos Futuros.....	125
7. Bibliografia	127
8. ANEXOS	135
8.1. Pinout do ELM327.....	135
8.2. Esquemático EAGLE PCB ELM327.....	137
8.3. Biblioteca SN65HVD234.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura ICT.....	2
Figura 2 – Modos de operação da rede quando um VE está presente [2].....	3
Figura 3 – Arquitetura direta [24].....	7
Figura 4 – Arquitetura indireta [24].....	8
Figura 5 – GM EV1 (1), Honda EV Plus (2), Toyota RAV4 EV (3) e Chevrolet S10 EV (4).15	
Figura 6 – Tesla Roadster (Esquerda) e Tesla Model S (Direita).....	16
Figura 7 – Nissan Leaf.	17
Figura 8 – Bateria Nissan Leaf.	18
Figura 9 – Portas de Carregamento Nissan Leaf.	20
Figura 10 – Chevrolet Volt.....	22
Figura 11 – Módulos de baterias do Chevrolet Volt.....	24
Figura 12 – Sistema de tração / Voltec.	25
Figura 13 – Carregador do Chevrolet Volt.....	27
Figura 14 – Pilha de Volta: Implementação prática.....	28
Figura 15 – Evolução do tamanho das baterias ao longo do tempo [80].	32
Figura 16 – Comparação das diferentes químicas de bateria [68].....	32
Figura 17 – Conector SAE J1772-2001.	37
Figura 18 – Conector SAE J1772-2009.	38
Figura 19 – Esquema de ligação J1772 [72].	40
Figura 20 – Conector CHAdeMO.....	41
Figura 21 – Esquemático conector CHAdeMO [74].	42
Figura 22 – Carregador rápido DC portátil da Andromeda Power [74].	43
Figura 23 – Conector Combined Charging Standard (SAE CCS).....	43
Figura 24 – Supercarregador da Tesla.	44
Figura 25 – Arquitetura de comunicação.	47
Figura 26 – Camadas Modelo OSI e camadas Modelo CAN.....	48
Figura 27 – Níveis de tensão (“0” e ”1”) e bits dominantes e recessivos.	50
Figura 28 – Taxa de transmissão em função do comprimento da rede.....	51
Figura 29 – Conector OBD – J1962 de 16 pinos.....	52
Figura 30 – Mensagem CAN da versão 2.0A (Standard CAN) [84].....	53
Figura 31 – Mensagem CAN da versão 2.0B [84].	54
Figura 32 – Priorização de mensagens CAN [85].	55
Figura 33 – Implementação de duas sub-redes num automóvel.....	56
Figura 34 – Canais de um sistema IEEE 802.11 na banda dos 2.4GHz.	69
Figura 35 – Implementação da norma IEEE 802.11p [89].	70
Figura 36 – Implementação da norma IEEE 802.16 (WiMAX) [79].	71
Figura 37 – Exemplo de ligação entre módulos Bluetooth [94].....	72
Figura 38 – Arduino UNO.....	76

Figura 39 – Arduino DUE.	77
Figura 40 – IDE do Arduino.	78
Figura 41 – Raspberry Pi 2.	79
Figura 42 – Modulo Bluetooth HC05 (Mestre).	81
Figura 43 – Modulo Bluetooth HC06 (Escravo).	81
Figura 44 – Placa ELM327 com o módulo Bluetooth HC06 (Escravo).	83
Figura 45 – GPS com antena exterior.	83
Figura 46 – Shield Ethernet W5100.	84
Figura 47 – Circuito Integrado ELM 327.	85
Figura 48 – Circuito Integrado MCP2551.	87
Figura 49 – Circuito Integrado MCP2515.	87
Figura 50 – Modelo Eagle da interface OBD-II.	88
Figura 51 – Interface OBD-II com todos os componentes montados.	90
Figura 52 – Conector OBD-II (J1962).	91
Figura 53 – <i>Shield</i> Sparkfun CAN-BUS ligado ao Arduino UNO e módulo Bluetooth.	92
Figura 54 – Variantes SN65HVD233/4/5 [102].	93
Figura 55 – Diagrama SN65HVD23x.	94
Figura 56 – Esquema de ligação do Arduino DUE a dois SN65HVD234.	95
Figura 57 – Esquema <i>shield</i> EV Dual CAN.	95
Figura 58 – Conector DB9.	96
Figura 59 – Shield EV Dual CAN com módulo Bluetooth e GPS.	97
Figura 60 – Acoplamento do Arduino DUE à shield EV Dual CAN e restantes módulos.	97
Figura 61 – Esquema ligação à base de dados, agregador, operador de rede e agendador.	100
Figura 62 – Tabelas desenvolvidas através do <i>phpMyAdmin</i>	101
Figura 63 – Mapa com informação do percurso usando a <i>Google Maps API</i>	103
Figura 64 – Arquitetura do sistema de recolha de dados Chevrolet Volt.	105
Figura 65 – Percurso (1) com o Chevrolet Volt.	106
Figura 66 – Valor de SOC em função da posição (percurso 1).	107
Figura 67 – Potência instantânea em função da posição (percurso 1).	107
Figura 68 – Velocidade e potência ao longo do tempo (percurso 1).	108
Figura 69 – Arquitetura do sistema de recolha de dados do Nissan Leaf.	109
Figura 70 – Potência em função da posição (percurso 1).	110
Figura 71 – Energia em função da posição (percurso 1).	110
Figura 72 – SOC em função da posição (percurso 1).	110
Figura 73 – SOH em função da posição (percurso 1).	110
Figura 74 – Potência em função da posição (percurso 2).	111
Figura 75 – Energia em função da posição (percurso 2).	111
Figura 76 – SOC em função da posição (percurso 2).	111
Figura 77 – SOH em função da posição (percurso 2).	111
Figura 78 – Potência em função da posição (percurso 3).	112
Figura 79 – Energia em função da posição (percurso 3).	112
Figura 80 – SOC em função da posição (percurso 3).	112
Figura 81 – SOH em função da posição (percurso 3).	112

Figura 82 – Potência em função da posição (percurso 4).	114
Figura 83 – Energia em função da posição (percurso 4).....	114
Figura 84 – SOC em função da posição (percurso 4).	114
Figura 85 – SOH em função da posição (percurso 4).	114
Figura 86 – Potência em função da posição (percurso 5).	115
Figura 87 – Energia em função da posição (percurso 5).....	115
Figura 88 – SOC em função da posição (percurso 5).	115
Figura 89 – SOH em função da posição (percurso 5).	115
Figura 90 – Potência em função da posição (percurso 6).	116
Figura 91 – Energia em função da posição (percurso 6).....	116
Figura 92 – SOC em função da posição (percurso 6).	116
Figura 93 – SOH em função da posição (percurso 6).	116
Figura 94 – Potência em função da posição (percurso 7).	117
Figura 95 – Energia em função da posição (percurso 7).....	117
Figura 96 – SOC em função da posição (percurso 7).	117
Figura 97 – SOH em função da posição (percurso 7).	117
Figura 98 – Percurso de ida.	121
Figura 99 – Percurso de volta.	121
Figura 100 – Esquema de pinos do ELM327 135	135
Figura 101 – Esquema PCB ELM327..... 137	137
Figura 102 – Esquema PCB ELM327..... 138	138
Figura 103 – Menu escolha de símbolo 139	139
Figura 104 – Desenho do símbolo do controlador SN65HVD234..... 140	140
Figura 105 – Associação de pinos do formato com os do símbolo. 140	140
Figura 106 – Símbolo com os pinos identificados..... 140	140

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações Nissan Leaf.....	17
Tabela 2 – Especificações da bateria do Nissan Leaf [39].....	18
Tabela 3 – Autonomia Nissan Leaf.	20
Tabela 4 – Níveis de carregamento Nissan Leaf.	21
Tabela 5 – Especificações do motor Nissan Leaf.	21
Tabela 6 – Especificações do Chevrolet Volt [51].	23
Tabela 7 – Especificações da Bateria Chevrolet Volt [51].	23
Tabela 8 – Modos de Carregamento	36
Tabela 9 – Modos disponibilizados pelo carregador com conector J1772 [72].	40
Tabela 10 – PWM presente no pino de controlo do conector J1772.	41
Tabela 11 – Padrões Rede CAN disponíveis no conector OBD.....	52
Tabela 12 – PID suportados pelo Chevrolet Volt.	57
Tabela 13 – ID suportados pelo Chevrolet Volt.	57
Tabela 14 – IDs filtrados do Nissan Leaf.....	59
Tabela 15 – Informação presente nos bits/bytes de cada ID.	59
Tabela 16 – Exemplo de informação presente no ID 1DB.	61
Tabela 17 – Exemplo de informação presente no ID 1DC.	61
Tabela 18 – Exemplo de informação presente no ID 55B.	62
Tabela 19 – Exemplo de informação presente no ID 5B9.	62
Tabela 20 – Exemplo de informação presente no ID 5BC.....	63
Tabela 21 – Histórico GSM.....	64
Tabela 22 – Especificações IEEE 802.11.....	68
Tabela 23 – Especificações IEEE 802.15.1.....	73
Tabela 24 – Características Arduino UNO.....	76
Tabela 25 – Características Arduino DUE.	77
Tabela 26 – Características do Raspberry Pi 1 e 2.	79
Tabela 27 – Características Bluetooth.	81
Tabela 28 – Conector DB9.....	96
Tabela 29 – Tarifário utilizado para potência contratada de 3.45 kVA-6.9 kVA.	118
Tabela 30 – Lucro realizado durante o dia com a venda de energia a rede.	119
Tabela 31 – Lucro realizado durante um mês com a venda de energia a rede.	120
Tabela 32 – Lucro anual com a venda de energia a rede.	120

ACRÓNIMOS

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
ACL	Asynchronous Connection Link
AES	Advanced Encryption Standard
AESC	Automotive Energy Supply Corporation
BMS	Battery Management System
BSS	Basic Service Station
BSSID	Basic Service Set Identification
CAN	Controller Area Network
CCS	Combined Charging Standard
CPU	Central Processing Unit
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection
CSS	Cascading Style Sheets
DEE	Departamento de Engenharia Eletrotécnica
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIP	Dual In-line Package
DMA	Direct Memory Access
DNS	Domain Name System
DOD	Depth of Discharge
ECS	Energy Consumption Scheduling
ECU	Electronic Control Unit
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EOBD	European On Board Diagnostics
EPA	Environmental Protection Agency
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EVCC	Electric Vehicle Communication Controller
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHCDMA	Frequency Hopping Code Division Multiple Access
G2V	Grid to Vehicle
GPRS	General Packet Radio Service

GPS	Global Positioning System
GPU	Graphical Processing Unit
GSM	Global System for Mobile Communications
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
ICSP	In Circuit Serial Programming
ICT	Information and Communication Technologies
IDE	Integrated Development Environment
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IPC	Instituto Politécnico de Coimbra
IPv6	Internet Protocol v6
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Standards Organization
ITS	Intelligent Transportation Systems
JEVS	Japan Electric Vehicle Standard
LCD	Liquid-Crystal Display
LTE	Long Term Evolution
MIL	Malfunction Indicator Lamp
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
NEDC	New European Driving Cycle
NRZ	Non Return to Zero
OBD	On Board Diagnostics
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplex Access
OSI	Open Systems Interconnection
PAR	Peak to Average
PCB	Printed Circuit Board
PCI	Programmable Communication Interface
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PHP	Personal Home Page
PID	Parameter Identification
PLC	Power Line Communication
PWM	Pulse Width Modulation

QOS	Quality of Service
RJ45	Registered Jack 45
SAE	Society of Automotive Engineers
SCO	Synchronous Connection Link
SD	Secure Digital
SECC	Supply Equipment Communication Controller
SGBD	Sistema de Gestão de Banco de Dados
SLA	Sealed Lead Acid
SO	Sistema Operativo
SOC	State of Charge
SOH	State of Health
SPI	Serial Peripheral Interface
SQL	Structured Query Language
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TEPCO	Tokyo Electric Power Company
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TLS	Transport Layer Security
TWI	Two-Wire Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
V2B	Vehicle to Building
V2G	Vehicle to Grid
V2GTP	Vehicle to Grid Transfer. Protocol
V2H	Vehicle to House
VE	Veículo Elétrico
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WEP	Wired Equivalent Privacy
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access

1. INTRODUÇÃO

Em termos genéricos, as redes de energia inteligentes designadas usualmente por *smart grids*, têm como objetivo melhorar a eficiência, a fiabilidade e a sustentabilidade da produção e distribuição de energia elétrica, usando a informação da atividade dos produtores e consumidores de energia. A exploração das redes inteligentes permite igualmente uma maior integração das fontes de energia renováveis, a redução das perdas de transporte e de distribuição de energia e a implementação de tarifas dinâmicas de energia.

Do ponto de vista do utilizador residencial, o veículo elétrico (VE) é sem dúvida a carga mais promissora para efetuar a otimização da utilização da energia, tendo em conta os valores de potência envolvidos e a possibilidade de transmissão bidirecional de energia que este possibilita. A título de exemplo, a unidade de armazenamento de energia pode ser carregada durante a noite, quando a procura de energia elétrica é menor e a disponibilidade de energia eólica é maior. Durante as horas de maior consumo o VE poderá fornecer energia à rede implementando o conceito *Vehicle to Grid* (V2G).

Tendo em conta que a utilização dos veículos para transporte compreende usualmente um reduzido intervalo de tempo, verifica-se que os mesmos se encontram circunscritos, por longos períodos, em espaços específicos (garagens, parques de estacionamento do local de trabalho / públicos), sendo que a capacidade armazenamento de energia elétrica presente nas baterias do VE pode ser utilizada para outros fins sem comprometer a sua função principal: o transporte.

O conceito V2G compreende a existência de um veículo elétrico com um inversor bidirecional que permite a transferência controlada de energia elétrica, entre o veículo e a rede elétrica. A energia flui da rede elétrica para o veículo com o intuito de carregar a sua bateria. Flui na direção oposta quando a rede requer energia, por exemplo, para contrariar um pico de consumo.

O conceito V2G pode ser subdividido em dois, correspondentes a diferentes tipos de utilização: o *Vehicle-To-Home* (V2H), emprega-se quando o veículo elétrico se encontra em casa e o *Vehicle-To-Building* (V2B) quando o veículo elétrico se encontra num prédio comercial. Em ambos os casos, a carga armazenada na bateria é usada para complementar a rede elétrica de âmbito local, sem que ocorra transferência de energia para a rede elétrica de distribuição.

No entanto, o conceito V2G quando aplicado em grande escala permite uma redução de carga na rede elétrica em períodos específicos, permitindo um fornecimento dinâmico e proporcionando assim um meio de aproximar os valores de produção aos valores de consumo (*load-balance*). Além disso, se ocorrer uma falha de energia elétrica na rede, o V2G proporciona uma fonte de energia de reserva, que permite o funcionamento de cargas prioritárias e de emergência.

A troca de informação entre o VE e a rede inteligente é o aspeto fulcral da implementação do conceito V2G, visto que sem esta a rede desconhece as necessidades de carga do veículo, isto é a potência requerida e a sua duração não são conhecidas, assim como a capacidade de responder a pedidos da rede é inexistente. O conceito V2G necessita de uma comunicação segura e fiável, que permita a comunicação bidirecional entre o veículo e o operador de rede.

A comunicação entre o VE e a rede inteligente pode ocorrer em dois instantes distintos, como representado na figura 1. Quando o VE se encontra a carregar num ponto de carregamento ou em casa, deve ser usada uma solução de telecomunicações de acordo com o padrão ISO/IEC 15118.

Em casa, o VE pode também utilizar os recursos das redes sem fios existentes para promover a comunicação com a rede inteligente. Por outro lado, se o VE se encontra estacionado noutro lugar ou se está a deslocar numa estrada ou local sem infraestruturas de comunicação adequadas, então devem-se encontrar outras soluções para obviar essa limitação. As redes sem fios e os sistemas de comunicação celulares são, nessas condições, os candidatos ideais para realizar essa troca de informação. A figura 1 apresenta a arquitetura de *Information and Communication Technologies* (ICT) proposta para implementação do conceito V2G.

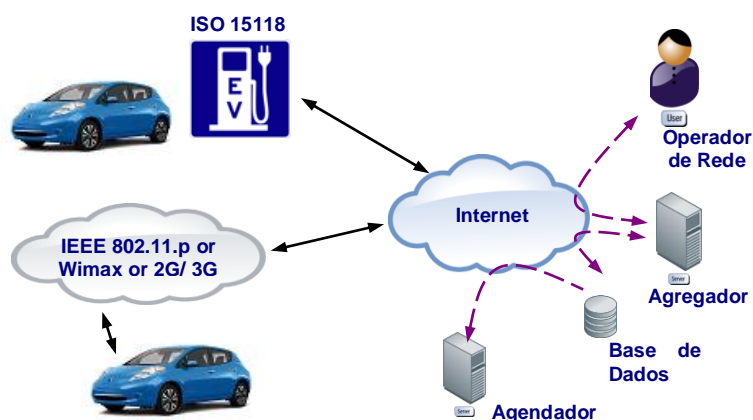


Figura 1 – Arquitetura ICT.

A utilização das tecnologias rádio proporciona mobilidade do terminal, baixo custo de instalação, rápida implementação e cobertura adicional sobre as soluções de comunicação fixas existentes. As redes celulares de 2º, 3º e 4º geração, redes *wireless* IEEE 802.11 a / b / g / n / p e redes baseadas no padrão IEEE 802.16 fornecem os benefícios mencionados e redundância em relação às comunicações fixas, que podem ser usadas apenas quando o veículo elétrico se encontra a carregar as suas baterias.

1.1. Conceito V2G

O conceito V2G tem como princípio subjacente a existência de um veículo elétrico ou híbrido Plug-in, com capacidade de fornecer energia à rede elétrica inteligente. Os VE podem fornecer energia à rede de duas formas distintas, de modo isolado (*stand-alone mode*) e de modo conectado a uma rede elétrica inteligente (*grid-connected mode*) [1].

O “modo isolado” permite ao VE sincronizar-se com a rede elétrica local, permitindo utilizar a capacidade armazenada na bateria para fornecer energia numa situação de falha na rede ou funcionar como *prosumer* (consumidor e produtor) de uma microgeração local, de forma a suavizando as flutuações de energia produzida por esta.

O “modo conectado” permite que o VE seja sincronizado com a rede elétrica inteligente de forma a responder aos pedidos desta, seja de injeção ou de consumo de energia. A figura 2 representa os dois modos de funcionamento anteriormente descritos:

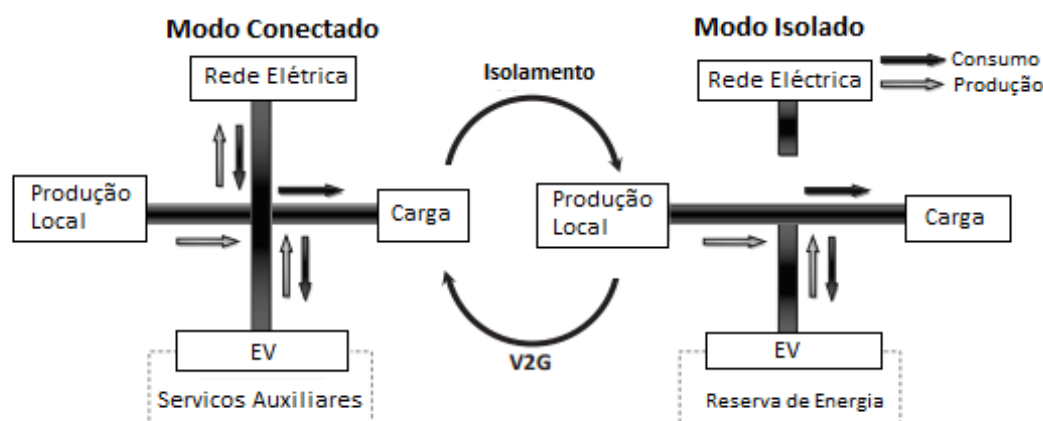


Figura 2 – Modos de operação da rede quando um VE está presente [2].

A energia fornecida pelo VE pode estar armazenada numa bateria ou numa célula de combustível. Caso esteja numa bateria esta funciona como *prosumer*, se a energia estiver armazenada numa célula de combustível atua apenas como produtor.

Um VE necessita de cumprir três requisitos de forma a cumprir o conceito V2G:

- Estar ligado à rede elétrica;
- Possuir capacidade de comunicar com o carregador e operador da rede elétrica;
- Possuir capacidade de controlo de carga da bateria.

A implementação do conceito V2G compreende a existência de uma unidade de processamento de informações designadas por *energy box* que gere a sua carga e os pedidos da rede, permitindo que carregue nas horas de menor procura / vazio e venda energia nas horas de maior procura / pico.

1.1.1. Comunicação V2G

Os requisitos para a comunicação V2G podem ser descritos por cinco parâmetros: largura de banda, latência, confiabilidade, segurança e mobilidade. O departamento de energia dos Estados Unidos da América estimou para as comunicações V2G os seguintes valores: largura de banda necessária até 100 kbps por VE e latência máxima de 2 segundos, em particular quando o VE oferece serviços auxiliares à rede [10].

Com o aumento do número de VE, estes requisitos podem tornar-se mais difíceis de alcançar devido à necessidade de maior largura de banda. Algumas das ferramentas e técnicas que recentemente têm sido propostas para disponibilizar uma maior largura de banda e baixa latência, de forma a cumprir os requisitos de uma comunicação V2G, são o rádio cognitivo e a partilha de espectro [3, 4], as comunicações do tipo MIMO [5] e o uso de múltiplos canais de frequência ortogonal [6]. Para tornar a comunicação confiável são utilizados o protocolo de transporte (TCP) e protocolos com deteção e correção de erros [7,8].

1.1.2. Serviços V2G

O conceito V2G permite ao operador gerir a rede elétrica de uma forma mais flexível o que se traduz num conjunto de funcionalidades, designadamente:

Reserva de potência – Um sistema V2G implementado em grande escala pode ajudar a manter o equilíbrio entre a procura e a oferta na rede elétrica através da injeção de energia. Caso existam VE suficientes ligados à rede a descarregarem as suas baterias em simultâneo, estes serão capazes de fornecer energia suficiente para auxiliar uma inesperada procura de energia, colmatando assim uma sobrecarga na rede [9].

Eliminação de picos e horas de vazio – A utilização de um conjunto de VE ajudam a eliminar as sobrecargas. No entanto, os picos de consumo na rede também podem ser suavizado através da coordenação de carga e descarga das baterias. Note-se que, em geral, o custo de operação de uma rede elétrica depende da razão entre o pico e a média *Peak-to-Average* (PAR) [10]. Em Portugal, existe pelo menos um período de ponta diário, por exemplo nos meses de Verão num dia de semana, situa-se entre as 9h15 e as 12h15. De forma a colmatar este consumo e garantir confiança no serviço o operador de rede necessita que seja produzida energia suficiente para corresponder aos picos de consumo [11].

Um valor elevado de PAR aumenta significativamente o custo de operação da rede elétrica, visto que a rede fornece um reduzido valor de potência relativamente ao seu valor máximo. Para corrigir a situação mencionada as baterias dos VE carregam em horas de baixa procura / vazio e descarregam nas horas de maior consumo / pico, contribuindo claramente para a redução do valor de PAR.

No entanto, no futuro, é espectável que quando o veículo se encontra a carregar em casa, este irá duplicar o consumo médio de energia residencial [12]. Intrinsecamente esta carga terá que ser controlada através de agendamento de consumo *Energy-Consumption Scheduling* (ECS) que estará presente nos contadores inteligentes [13,14].

Integração com energias renováveis – As energias renováveis, solar ou eólica, devido ao seu modo de funcionamento oferecem um fornecimento de energia intermitente e difícil de prever, obrigando à criação de sistemas de armazenamento de grande capacidade para colmatar essas falhas [15].

A criação de um banco central de baterias é dispendioso e pouco prático. Como alternativa, o conceito V2G torna esta implementação mais económica, criando um sistema distribuído e dinâmico.

Regulação de carga – Numa rede elétrica, a frequência é mantida sobre um controlo rigoroso. No caso de Portugal, este valor é igual a 50 Hz, sendo que um desvio deste valor requer uma ação do operador de rede [16]. Uma diminuição do valor da frequência é usualmente devido a uma produção inferior à necessária, como tal requer-se um aumento da produção ou uma diminuição da carga da rede elétrica.

O operador de rede deve atuar de forma a combater este tipo de problema através de geradores de arranque rápido. No entanto, o seu elevado custo de aquisição impede a utilização generalizada dessa solução. Em alternativa o conceito V2G possibilita que a regulação de frequência possa ser efetuada através dos VE que se encontram conectados à rede. A energia

armazenada nestes pode ser injetada na rede de forma a responder aos pedidos de aumento de produção ou de forma a criar uma maior carga na rede, promover a carga das baterias dos VE. Estes ajustes permitem efetuar uma pequena regulação de frequência, normalmente causada por pequenas falhas no despacho entre a produção e o consumo [17].

A regulação da tensão é um fator que o operador de rede necessita de controlar de forma a manter o bom funcionamento da rede. Tendo isto em conta, quando o valor da tensão desce, normalmente associado ao aumento de carga e consequentemente às perdas de transmissão, ou sobe devido ao deslastre de cargas [18], o operador de rede necessita de corrigir o valor da tensão. O conceito V2G permite que esta regulação seja feita de forma idêntica à regulação de frequência, sendo que os VEs com a tecnologia certa possam mudar a sua potência reativa e ativa sem grande alteração na vida útil da bateria [19]. A compensação da potência reativa é um dos pontos mais promissores de um sistema V2G [20, 21].

1.1.3. Arquitetura V2G

A arquitetura de um sistema V2G, no que se refere à distribuição dos VE pela rede pode ser dividida em dois tipos distintos: a arquitetura direta e arquitetura indireta.

Na arquitetura direta existe uma comunicação direta entre o operador de rede e o VE, como demonstrado na figura 3. Desta forma cada veículo pode ser tratado individualmente como um recurso determinístico, sendo comandada pelo operador de rede. Sob este paradigma, é permitido a cada veículo realizar serviços enquanto está a carregar, sendo que quando o veículo sai da estação de carregamento termina o seu fornecimento à rede elétrica ou carregamento. Esta arquitetura é conceptualmente simples, mas apresenta dois problemas:

- O primeiro problema compreende a quantidade de informação de sinalização e controlo necessária para monitorizar o veículo, designadamente o seu estado da ligação, o valor de potência disponível, o estado de carga das baterias e o valor da potência elétrica máxima durante a sua carga. Este conjunto de informações irá sobrecarregar significativamente as infraestruturas do operador de rede, visto que o número de VE pode atingir os milhões de unidades e o operador interage individualmente com cada um [22].
- O segundo problema é a localização do veículo e a sua capacidade energética limitada, que devido à sua natureza pode estar a carregar em sítios distintos, tornando a distribuição de potência na rede mais difícil de controlar [23].

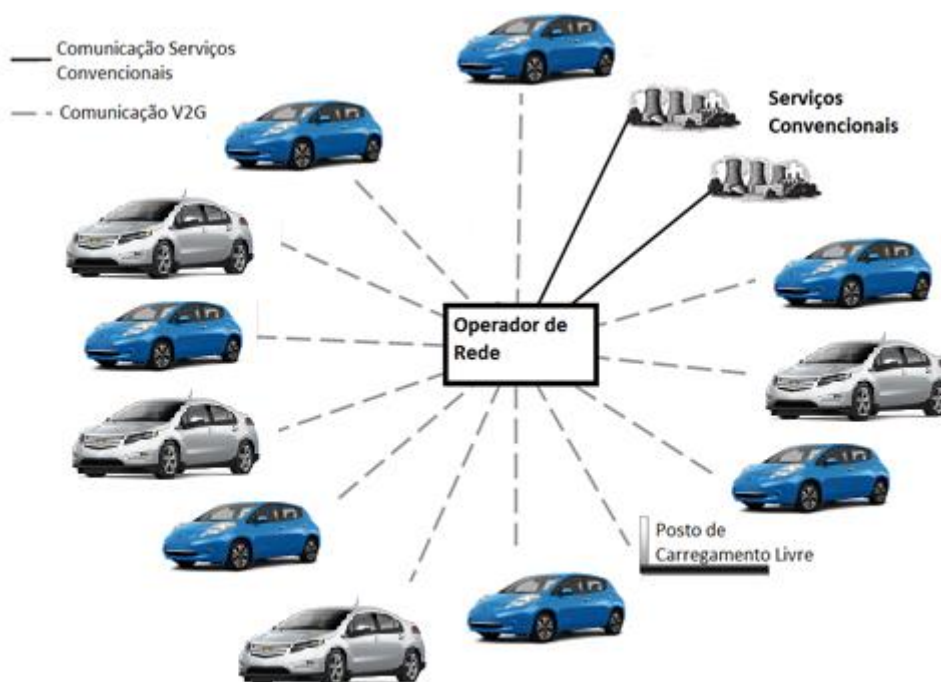


Figura 3 – Arquitetura direta [24].

A arquitetura indireta envolve vários agregadores, como demonstrado na figura 4, sendo que cada agregador contém os serviços prestados pelos VE individualmente, tornando-os num recurso único de potência controlável. O que torna esta arquitetura indireta é o fato dos agregadores serem intermediários entre os veículos e o operador de rede. O agregador recebe solicitações de serviço do operador de rede, podendo estes ser de carregamento ou descarregamento das baterias dos veículos que estão disponíveis e dispostos a executar os serviços necessários.

Alternativamente, o agregador pode interagir com seus veículos correspondentes através de tarifas dinâmicas, onde os preços são definidos de acordo com o serviço de rede [25]. Através de uma estimativa de participação do VE, o agregador pode em qualquer momento, executar os serviços para a rede de energia, enquanto os veículos podem acoplar e desacoplar do agregador. Os VE são então compensados de acordo com, por exemplo, o número de minutos que eles tenham participado em oferta de serviços auxiliares.

Este tipo de arquitetura agregativa tenta colmatar os principais problemas verificados na arquitetura direta mencionada anteriormente, sendo que, quanto maior o número de agregadores, maior será a confiabilidade do sistema V2G. Isto permite que o operador de rede trate cada agregador como um prestador de serviços e elimine a preocupação das comunicações e do tratamento constante da informação de cada veículo [26].

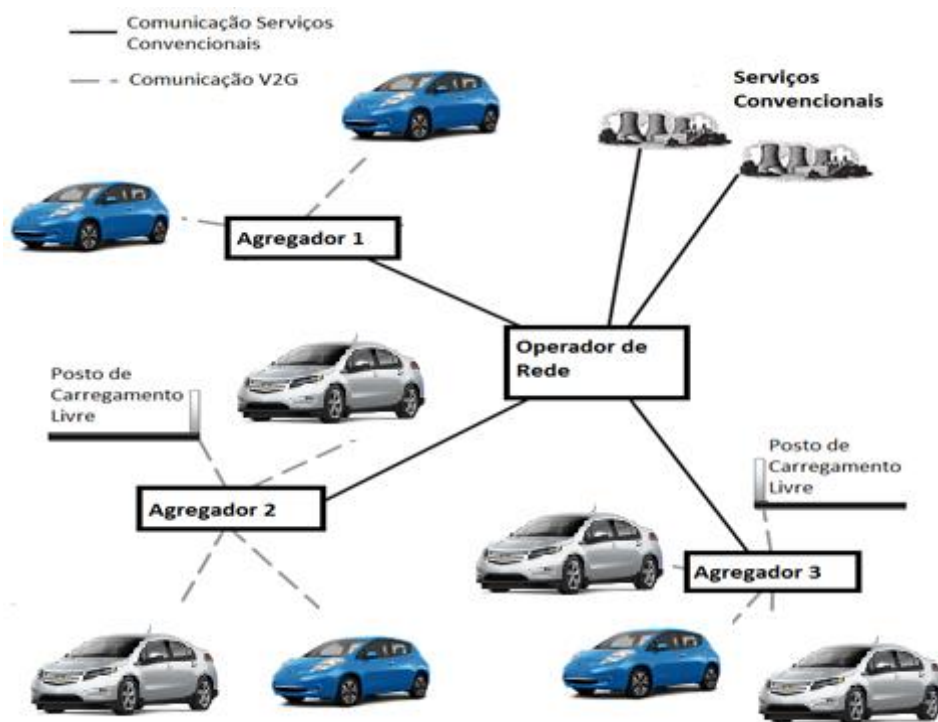


Figura 4 – Arquitetura indireta [24].

1.1.4. Agregador V2G

Um elemento importante no conceito V2G (arquitetura indireta) é o agregador. Este estabelece a ligação entre o VE e a rede elétrica. O agregador pode efetuar as seguintes funções:

- Operador de rede;
- Representante de um grupo de VE.

A função de operador de rede é a mais comum, uma vez que o agregador controla os serviços disponíveis que melhor servem a rede. Isto inclui maximizar a participação do VE no auxílio à rede e diminuir o custo de operação da rede. O agregador tenta manter a qualidade do fornecimento dentro do conjunto de parâmetros definidos. A título de exemplo, a tensão da rede deve ser mantida dentro dos limites inferiores e superiores em todos os pontos da rede. Desta forma, o operador de rede minimiza as perdas de energia [27].

Finalmente, a função de representante de um grupo de VE tem como objetivo maximizar o seu lucro oferecendo serviços auxiliares. Isto é obtido introduzindo os serviços no mercado de energia e negociando com os operadores de rede em nome do VE de forma a obter a melhor oferta [28]. A fim de ser bem-sucedido, o agregador deve garantir a eficiência e a equidade entre os VE que estão sob sua administração.

1.2. Objetivos e Metodologia

Face ao exposto, são agora indicados os objetivos que se pretendem atingir neste trabalho de projeto e a metodologia utilizada na sua obtenção.

Numa primeira fase foram estudadas as diferentes tecnologias de comunicações passíveis de suportar o envio e receção de dados entre um veículo e um *data aggregator*. Com base na informação recolhida escolheram-se as tecnologias de comunicação que melhor se adequam aos requisitos do problema. Nessa fase foi também definida a informação necessária à implementação do conceito que se pretende implementar, bem como o respetivo protocolo de comunicação.

Posteriormente, efetuou-se o projeto e o desenvolvimento de um módulo de *datalogger*. A informação recolhida é registada numa base de dados para posterior consulta. A informação do barramento Controller Area Network (CAN) do veículo está também disponível para consulta através de uma página *web*.

O objetivo final deste projeto compreende o desenvolvimento de um módulo de comunicação capaz de recolher valores necessários à implementação do conceito V2G e posterior envio dos mesmos para uma base de dados. Por fim, é demonstrado um algoritmo de gestão de energia e escalonamento de cargas adequados ao cenário de um veículo elétrico com capacidade V2G.

1.3. Estrutura do Documento

O presente documento de suporte ao trabalho de projeto desenvolvido está estruturado nos seguintes capítulos:

No capítulo 1, “Introdução”, é realizada uma contextualização do conceito V2G e das arquiteturas subjacentes. Apresentam-se os requisitos necessários a uma comunicação V2G, os serviços que o conceito disponibilizada, assim como o seu impacto na rede elétrica. De seguida apresentam-se as diferentes arquiteturas do conceito V2G indireta e direta, sendo que, para a variante indireta é apresentado o conceito de agregador. Por fim são apresentados os objetivos, a metodologia adotada e a estrutura do relatório de trabalho de projeto.

No capítulo 2, “Conceção do sistema”, depois de uma breve introdução, é abordado a história dos veículos elétricos, são analisados os dois veículos utilizados nos testes efetuados durante este projeto: o Nissan Leaf e o Chevrolet Volt. De seguida é apresentada uma breve resenha histórica das baterias com ênfase nas baterias usadas nos VE de Ni-MH e iões de lítio.

Tendo em conta a sua importância nos objetivos do trabalho a desenvolver são introduzidos dois parâmetros o State of Charge (SOC) e State of Health (SOH). Finalmente, são analisados os modos de carregamento, os carregadores e alguns dos conectores de carregamento disponíveis no mercado.

No capítulo 3, relativo ao “Estado da arte dos sistemas de comunicação”, foi realizada uma breve introdução, sendo posteriormente abordado o protocolo CAN e a sua aplicação nos automóveis. De seguida é apresentada a informação recolhida do Chevrolet Volt e do Nissan Leaf, com o intuito de se implementar o conceito V2G. Foram estudadas e analisadas diferentes redes de comunicação sem fios e sistemas de comunicação móvel.

No capítulo 4, “Desenvolvimento de Plataforma”, foi realizada uma introdução às soluções tecnológicas implementadas, com ênfase nos módulos desenvolvidos, nomeadamente os dispositivos eletrónicos de leitura do barramento CAN. O primeiro módulo implementado teve por base o circuito integrado ELM 327. Numa fase posterior do projeto adquiriu-se um dispositivo comercial, a *shield* Sparkfun CAN bus para efetuar diretamente a leitura do barramento CAN evitando o recurso a pedidos ao ELM 327. Finalmente, desenvolveu-se um módulo o qual se designou por EV DUAL CAN, baseado em controladores CAN disponíveis no mercado. Estes dispositivos são conectados à unidade microprocessadora, diretamente ou através de Bluetooth (para o ELM327), que por sua vez interliga com o recetor *Global Positioning System* (GPS). A informação recolhida é enviada através de um modem *wireless* que se encontra conectado à *shield Ethernet*. Para completar o capítulo foi efetuada uma introdução às ferramentas, tecnologias e *softwares* utilizados ao longo do desenvolvimento do referido trabalho de projeto.

No capítulo 5, “Testes de campo”, são apresentados os resultados obtidos através dos testes de campo realizados utilizando os veículos Chevrolet Volt e Nissan Leaf. Por fim, é apresentado o resultado da análise de viabilidade económica com base num algoritmo de gestão de energia em função da utilização do referido VE.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões mais relevantes do trabalho efetuado, sendo também expostas algumas sugestões de trabalho futuro.

1.4. Contribuições Originais e Publicações

No que respeita às contribuições originais resultantes da investigação desenvolvida no âmbito deste trabalho de projeto refiro as seguintes:

- Conceção de uma arquitetura de ICT com o objetivo de implementar na prática o conceito V2G;
- Desenvolvimento de dois módulos eletrónicos responsáveis pela leitura do barramento CAN dos veículos utilizados nos testes de campo;
- Realização de um estudo de viabilidade económica da solução desenvolvida para implementação do conceito V2G.

O trabalho realizado deu origem a dois artigos em conferências internacionais:

- Victor D. N. Santos, José M. R. Gonçalves, Paulo Tavares, João P. Trovão, “*A Novel ICT Solution for Electric Vehicles Integration on Smart Grids*”, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2015)*, Montréal, Canada, October 19-22, 2015. (Artigo aceite)
- Victor D. N. Santos, João P. Trovão, Telmo P. Branco, José M. R. Gonçalves, “*Information and Communication Technology Solution for the V2G Concept Implementation*”, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2014)*, Coimbra, Portugal, October 27-30, 2014. DOI: 10.1109/VPPC.2014.7007091

2. VEÍCULOS ELÉTRICOS

2.1. Introdução

No presente capítulo pretende-se apresentar a história dos veículos elétricos desde os seus primórdios até aos dias de hoje. De seguida, são apresentadas as características técnicas de dois VE, que foram utilizados na realização dos testes de campo deste projeto, com o objetivo de apresentar a viabilidade do conceito que se pretende implementar e as funcionalidades disponíveis. Para complementar a informação é apresentada a história das baterias utilizadas nos VE com ênfase nas baterias de Ni-MH e iões de lítio. Por fim, são discriminados os modos de carregamento e os carregadores empregues nos VE apresentados anteriormente.

2.2. História do Veículo Elétrico

A história do veículo elétrico começou em meados do século XIX. Em 1828, Ányos Jedlik originário da Hungria, inventou um dos primeiros motores elétricos que aplicou num pequeno carro por si projetado [29]. O interesse por este tipo de veículos aumentou consideravelmente nos finais dos anos 1890 e inícios do século XX. Os veículos com motor elétrico, tinham uma maior procura para utilização em cidade, visto que a autonomia não era um obstáculo. Os primeiros veículos elétricos a serem produzidos tinham como alvo principal a classe alta, visto que a carroçaria era ornamentada e os seus interiores luxuosos.

A aceitação dos veículos elétricos começou a ter uma maior expressão em 1912 com o aumento significativo do número de casas eletrificadas. No início do século XX registavam-se um total de 33842 veículos elétricos nos Estados Unidos da América, sendo este o país com maior aceitação deste tipo de veículos [30].

Os veículos elétricos, devido à tecnologia disponível na época, apresentavam uma velocidade limitada a 32 km/h. No entanto, quando comparado com os veículos concorrentes a combustão interna e a vapor, este não apresentavam as vibrações, os odores nem os ruídos comuns a esse tipo de veículos. Adicionalmente estes não tinham mudanças, ao contrário dos veículos a combustão, sendo que os veículos a vapor também não possuíam mudanças mas tinham como grande desvantagem o tempo de arranque do motor.

As baterias foram sempre o principal fator de limitação dos veículos elétricos quando comparado aos seus concorrentes. Como as baterias ofereciam pouca capacidade de armazenamento e elevado tempo de carga, assim como poucos postos disponíveis para as carregar, em 1896 a empresa “Hartford Electric Light Company” propôs um modelo de negócio que contemplava a troca das baterias ao invés do seu carregamento por parte do utilizador, sendo que as baterias e os veículos foram modificados de forma a permitir uma rápida troca das mesmas [31].

Este serviço criado inicialmente para veículos pesados, estava disponível para os veículos comprados na *General Vehicle Company* (uma subsidiária da *General Electric Company*), sendo que o veículo aquando da sua compra não possuía bateria. As baterias eram então alugadas pelo dono do veículo, que pagava uma taxa dependente do número de quilómetros percorridos, assim como, uma taxa mensal para a sua manutenção [31].

A partir de 1920, as estradas começaram a oferecer melhores infraestruturas e mais opções, possibilitando aos utilizadores viagens mais longas. Durante essa época a disponibilidade de petróleo aumentou substancialmente, possibilitando dessa forma uma maior oferta de combustível. Este fato permitiu que os veículos com motor a combustão interna se tornassem mais acessíveis para viagens longas e os elétricos limitados a viagens mais curtas com velocidade não superiores a 32 km/h e uma autonomia compreendida entre os 50 a 65 km.

A invenção do motor de arranque por Charles Kettering em 1912, que evitava o uso da manivela de arranque [32], do sistema de escape por Hiram Percy Maxim em 1897, que eliminava parte do barulho produzido pelo motor e com o início da produção em série de carros a combustão interna por Henry Ford, contribuíram para o sucesso comercial dos veículos. Em 1912 os veículos elétricos tinham o dobro do preço de um veículo de combustão interna, ficando por esse motivo muito menos atrativos para o comprador final [33].

A produção de veículos elétricos estagnou desde então, sendo apenas produzidos veículos elétricos para utilização específica: como empilhadoras, carros de golfe, entre outros. Algumas empresas nos anos 50 e 60 tentaram retomar a produção e a venda de VE, mas sem sucesso já que estes eram uma opção mais cara quando comparado com os veículos de combustão interna [34].

Nos anos 90, a preocupação com a poluição e com os efeitos do aquecimento global incentivou os construtores de automóveis a reduzirem os níveis de poluição provocada pelos seus veículos.

Como forma de reduzir as emissões, os fabricantes construíram veículos elétricos, de entre eles refira-se o GM EV1 e o Chevrolet S10 EV do grupo General Motors, o Honda EV Plus, e o Toyota RAV4 EV, os quais se encontram ilustrados na figura 5.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 5 – GM EV1 (1), Honda EV Plus (2), Toyota RAV4 EV (3) e Chevrolet S10 EV (4).

Para colmatar a falta de autonomia dos veículos elétricos, em 1999, o fabricante de automóveis Honda, construiu o modelo Insight Hybrid, combinando dessa forma as vantagens de um veículo a combustão interna com um veículo elétrico, permitindo maiores autonomias e consumos inferiores relativamente aos automóveis convencionais. O interesse pelo referido veículo foi diminuto, tendo em conta as suas reduzidas dimensões e o seu elevado custo, superior ao de um veículo a gasolina.

A Toyota iniciou também entre 1999 e 2000 a venda de um veículo híbrido, o Toyota Prius, o qual ainda se encontra à venda. Com o passar dos anos verificou-se um aumento de aceitação por este tipo de veículos.

Em 2004 a Tesla Motors iniciou o desenvolvimento do Tesla Roadster, ficando este disponível para o público em 2008. Este modelo marcou um conceito diferente aplicado aos veículos elétricos, sendo um veículo desportivo de dois lugares e capaz de atingir velocidades elevadas [35].

Com o fim das vendas do Tesla Roadster em 2012, a empresa apresentou o Tesla Model S, um veículo de carácter desportivo, mas capaz de transportar 5 pessoas e com uma autonomia de 426 km. A figura 6 apresenta os dois VE produzidos pela Tesla Motors: o Tesla Roadster e o Tesla Model S.



Figura 6 – Tesla Roadster (Esquerda) e Tesla Model S (Direita).

Outros fabricantes de automóveis como a Mitsubishi, a Peugeot e a Citroen também iniciaram a produção e venda de veículos elétricos. De entre os modelos desenvolvidos o i-MiEV, o iOn e o C-Zero partem do mesmo conceito, sendo basicamente iguais. A General Motors, começou a produzir o Chevrolet Volt / Opel Ampera, veículo abordado neste projeto, sendo este veículo uma evolução das tecnologias pioneiras presentes no EV1. A Nissan além do Prius iniciou a produção do Leaf em 2010, veículo que também será analisado durante este projeto.

2.3. Veículos Elétricos

Nos últimos anos os fabricantes de automóveis apresentaram novas propostas e conceitos, que pretendiam responder cabalmente às exigências dos consumidores.

Atualmente, a oferta de veículos elétricos é superior quando comparada com a existente há uns anos atrás. Verifica-se a oferta de um número significativos de modelos por parte da Audi, BMW, Chevrolet, Opel, Peugeot, Mercedes, Mitsubishi, Tesla, VW, Volvo entre outras.

No decurso deste projeto tivemos acesso a dois veículos elétricos: o Nissan Leaf e o Chevrolet Volt, os quais implementam conceitos diferentes: o Nissan Leaf é um VE puro e o Chevrolet Volt um *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV).

2.3.1. Nissan Leaf

O Nissan Leaf, representado na figura 7, é um veículo elétrico compacto com formato *hatchback* de cinco portas fabricado pela Nissan. Iniciou as vendas no Japão e nos Estados Unidos em dezembro de 2010, seguindo-se-lhes vários países europeus e o Canadá em 2011. Em agosto de 2014 encontrava-se disponível em 35 países. O Nissan Leaf desde o início da sua comercialização, obteve uma boa aceitação por parte do mercado, sendo que em dezembro de 2014 as vendas a nível global foram superiores a 158 mil unidades. Os Estados Unidos são o líder do mercado com 72322 unidades vendidas, seguido pelo Japão com 48641 e a Europa com 33481 [36].

O *design* do Nissan Leaf é caracterizado pelo ser formato em V. O desenho dos faróis frontais teve em consideração o deslocamento do ar. Estes redirecionam o ar de forma a evitar o seu contacto com os espelhos, reduzindo assim o ruído do vento e o coeficiente de resistência aerodinâmica [37]. A parte inferior do veículo foi alvo de um projeto aerodinâmico, sendo na sua maioria plana, contribuindo esse fator para uma melhoria na sua aerodinâmica.



Figura 7 – Nissan Leaf.

De acordo com a Nissan, o Leaf de 2011 tem um coeficiente de resistência aerodinâmica de 0.29, tendo esse valor sido reduzido para 0.28 em 2013 [38]. As características técnicas do Nissan Leaf encontram-se descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Especificações Nissan Leaf

Especificações do Veículo	
Marca	Nissan
Modelo	Leaf
Peso	1521 kg
Coeficiente de resistência aerodinâmica	0.28
Travões	Disco nas 4 rodas, com travagem regenerativa
Outros	Painel solar de auxílio à carga da bateria de 12 V

A iluminação do Nissan Leaf, foi projetada para que o seu impacto seja menor do que a encontrada num automóvel convencional, sendo que a iluminação frontal, em específico os médios, são em LED assim como os farolins presentes na traseira do veículo. Desta forma, o consumo de energia elétrica é reduzido quando comparado com o uso de lâmpadas de halogéneo.

2.3.1.1. Bateria

A bateria do Nissan Leaf é produzida pela *Automotive Energy Supply Corporation* (AESC) situada em Zama no Japão, a qual resulta da colaboração entre a Nissan, a NEC e a *NEC Energy Devices*. As características técnicas das baterias utilizadas no Nissan Leaf estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Especificações da bateria do Nissan Leaf [39].

Especificações da Bateria	
Tensão	403.2 V / 360 V nominal
Número de células	48 módulos
Capacidade energética	24 kWh (21 kWh disponíveis)
Potência	90 kW
Controlo de temperatura	Ventilação e resistências de aquecimento
Estimativa de vida	70 % a 80 % em 10 anos (módulos podem ser substituídos individualmente)
Peso	294 kg
Energia Específica	140 Wh/kg

As baterias do Nissan Leaf, representadas na figura 8, encontram-se localizadas na parte inferior do veículo, situadas entre os bancos frontais e os bancos traseiros. Tendo em conta o seu elevado peso, é um dos componentes mais pesados do veículo elétrico, a sua localização modifica o seu centro de gravidade, o qual fica mais baixo, proporcionando uma maior rigidez estrutural do veículo quando comparado com um veículo convencional de cinco portas.



Figura 8 – Bateria Nissan Leaf.

Como indicado na tabela 2, a Nissan prevê que a bateria ao fim de 10 anos seja capaz de reter 70 % a 80 % da sua capacidade. Estes valores dependem, no entanto, da condução e de fatores ambientais, assim como do uso de carga rápida. Este último terá um impacto significativo na vida útil das baterias, sendo que o seu uso continuado leva a uma maior degradação das mesmas [40].

Além da bateria principal, o Nissan Leaf possui uma bateria de chumbo de 12 V, tendo esta por função alimentar a eletrónica e os acessórios do VE, tais como, o rádio, a iluminação, os *airbags* e o computador de bordo, etc. De forma a otimizar o consumo, o Leaf possui um pequeno painel solar no *spoiler* traseiro, o qual disponibiliza uma fonte de carregamento residual.

2.3.1.2. Autonomia

A autonomia do Nissan Leaf tem vindo a aumentar com a introdução de novas versões ao longo dos anos. A versão de 2011/2012 apresenta uma autonomia de 175 km de acordo com o novo ciclo de condução europeu *New European Driving Cycle* (NEDC) [41]. No entanto a autonomia é fortemente influenciada pela condução, número de passageiros, condições de trânsito, estado do tempo e a taxa de utilização dos acessórios (ex. Ar-condicionado ou bancos aquecidos), sendo que em testes realizados pela Nissan foi obtido um valor igual a 76 km no pior cenário e um valor de 222 km no cenário ideal [42].

A Nissan apresentou, em junho de 2011, dados recolhidos dos sistemas de telemática presentes no Leaf, conduzidos no Japão e nos Estados Unidos, em que em média os condutores realizavam uma viagem de menos de 100 km por dia [43]. Os carregamentos eram efetuados em média apenas durante duas horas por noite, e alguns condutores realizavam um carregamento a cada dois dias [44].

O modelo de 2013, utilizado nos testes de campo do presente projeto, apresenta uma autonomia segundo o novo ciclo de condução europeu (NEDC) de 200 km [45]. O aumento de autonomia é devido a vários fatores, ao sistema de aquecimento que se tornou mais eficiente, possibilitando que em ambientes de temperatura baixa seja possível realizar entre 32 km a 40 km a mais quando comparado com o modelo de 2011/2012, à travagem regenerativa que aumentou a sua eficiência, a uma redução geral no peso do VE e a uma melhor aerodinâmica [46, 47].

A Nissan adicionou ainda uma nova função que ajuda a aumentar a autonomia em até 10 %. A função ECO Drive permite alterar a capacidade de resposta do pedal do acelerador, exigindo que o condutor pressione com mais força de forma a atingir a mesma taxa de aceleração, a travagem regenerativa atua com maior intensidade e o sistema de ventilação do habitáculo incluindo o ar-condicionado é ligeiramente alterado de forma a reduzir o seu consumo. A tabela 3 apresenta os valores de autonomia do Nissan Leaf de acordo com o ano do modelo.

Tabela 3 – Autonomia Nissan Leaf.

Modelo	Autonomia
Modelo 2011/2012	175 km (NEDC)
Modelo 2013	200 km (NEDC)

2.3.1.3. Carregador

O Nissan Leaf possui duas tomadas de carregamento, representadas na figura 9, as quais estão situadas na parte frontal na zona do símbolo, estando cobertas por uma porta que se destranca pelo interior do veículo. O carregamento pode ser agendado através do computador de bordo para uma hora específica, caso o utilizador tenha essa intenção.

Uma das tomadas possui um tamanho reduzido, de acordo com a norma SAE J1772-2009, tendo esta a função de carregamento de nível 1 e 2.



Figura 9 – Portas de Carregamento Nissan Leaf.

O nível 1 é obtido através de uma tensão de 120 V e uma corrente de 12 A (1.44 kW), e o nível 2 é obtido de duas formas: 240 V e 15 A (3.6 kW) e 240 V e 30 A (7.2 kW). No entanto, a norma SAE J1772 com a revisão em 2009, passou a suportar até 19.2 kW.

Os carregamentos de nível 1 e 2 são os que têm maior utilização, já que estão disponíveis em qualquer posto de carregamento, local de trabalho ou habitação.

A tomada de tamanho superior é do tipo JARI DC. Este tipo de tomada foi projetada para um valor de tensão DC, com o limite de 500 V e 125 A (62.5 kW) possibilitando um carregamento de nível 3 (carga rápida). O carregamento do Nissan Leaf está contudo limitado a 44 kW [48].

Esta tomada foi projetada tendo em conta o protocolo CHAdeMO. Este protocolo cumpre as normas impostas pelo *Japan Electric Vehicle Standard (JEVS) G105-1993*.

Além do transporte de energia, a tomada suporta comunicação CAN, possibilitando a implementação de funções específicas, como colocar tensão na tomada apenas quando esta se encontra ligada. Permite ainda a transmissão de parâmetros referentes à bateria, o valor da tensão pedida, a capacidade total e quando deve terminar a carga para o posto de carregamento, possibilitando assim que o posto de carregamento ajuste a corrente de saída.

O carregamento rápido possibilita que o Leaf carregue a bateria desde níveis de capacidade quase nulos até 80% em aproximadamente 30 minutos. No entanto, este tipo de carga incrementa em 10% a degradação das baterias sobre uma carga típica de nível 2, ao longo de 10 anos [49]. A tabela 4 apresenta os níveis de carregamento suportados pelo Nissan Leaf.

Tabela 4 – Níveis de carregamento Nissan Leaf.

Carregamento	
Níveis	Tempo de Carga
Nível 1 – 120 VAC	Máximo 12 A, 20 horas para uma carga completa
Nível 2 – 240 VAC	Máximo 15 A, 7 horas para uma carga completa
Nível 2 – 240 VAC	Máximo 30 A, 3.5 horas para uma carga completa
Nível 3 – 480 VDC	Máximo 125 A, 30 min carrega 80 %

2.3.1.4. Motor

O motor de tração do Nissan Leaf, cujas características se encontram descritas na tabela 5, é do tipo AC síncrono e encontra-se montado na frente do veículo acoplado ao eixo frontal.

Tabela 5 – Especificações do motor Nissan Leaf.

Motor	
Potência	80 kW / 107 hp e 280 Nm (254 Nm em 2013)
Rácio Motor - Rodas	7,937:1
Tensão Motor	~400 V
Velocidade Máxima	~150 km/h

Como o motor elétrico aquece durante o seu funcionamento, assim como os restantes componentes, o Nissan Leaf possui um sistema de arrefecimento líquido que utiliza duas bombas elétricas que fazem circular o líquido pelo carregador interno, o conversor DC-DC, o inversor e o motor, tendo um radiador no final do circuito de forma a dissipar o calor.

Os veículos com motor de combustão utilizam o calor produzido por este para aquecer o interior do veículo. No caso dos veículos elétricos tal não é possível uma vez que o motor não produz calor suficiente. Como tal, é utilizado um elemento resistivo para aquecer o habitáculo. Este elemento resistivo apenas produz o calor necessário, sendo que não é desperdiçado calor como nos motores de combustão interna. Para ativar o elemento resistivo é necessário que a temperatura solicitada para o interior seja inferior à temperatura exterior.

O arrefecimento do interior é realizado através de um compressor elétrico, ao invés do tradicional compressor mecânico.

2.3.2. Chevrolet Volt

O Chevrolet Volt, apresentado na figura 10 (ainda designado por Opel Ampera ou Holden Volt, dependendo do país onde se encontra à venda), é um automóvel híbrido *Plug-in* (PHEV), construído pela General Motors, sendo um dos primeiros automóveis com extensor de autonomia do mundo.



Figura 10 – Chevrolet Volt.

As vendas iniciaram-se no final de 2010 na Europa e início de 2011 nos Estados Unidos, com o veículo a ter boa aceitação por parte dos consumidores. Ao fim de 4 anos na Europa, em dezembro de 2014, as vendas registavam um total de 9700 unidades (Chevrolet Volt e Opel Ampera). Nos Estados Unidos, em maio de 2015 registavam-se 78000 unidades vendidas, fazendo deste modelo o líder dos veículos *Plug-in* no mercado americano. O Chevrolet Volt ganhou, em maio de 2015, o prémio mundial de melhores vendas de um veículo *Plug-in* com um registo de 93000 unidades vendidas [50].

O Chevrolet Volt utiliza primordialmente propulsão elétrica alimentada através das baterias. Quando a capacidade das baterias atinge um certo valor, ou é exigido uma potência superior à qual estas podem fornecer, o motor de combustão entra em funcionamento, tornando o segundo motor elétrico um gerador, o qual atua como um extensor de autonomia. Em caso de necessidade de potência extra, ou de velocidades elevadas, o motor elétrico que funciona como gerador assume a função de tração através de uma embraiagem acoplada a uma caixa de mudanças planetárias fornecendo a sua potência diretamente ao eixo de tração, contribuindo assim para uma melhor eficiência energética. As especificações do Chevrolet Volt estão descritas na tabela 6.

Tabela 6 – Especificações do Chevrolet Volt [51].

Especificações do Chevrolet Volt	
Marca / Modelo:	Chevrolet Volt 2012
Propulsão:	Multi-modo PHEV – Eléctrica com gerador a gasolina
Motor:	DOHC I-4, 1.4 L, 63 kW @ 4800 rpm
Máquinas Eléctricas:	1 motor de propulsão e 1 moto-gerador
Motor Eléctrico Principal:	111 kW (pico), DC de ímans permanentes
Velocidade Máxima:	160 km/h

2.3.2.1. Bateria

A bateria do Chevrolet Volt contém 288 células prismáticas de íões de lítio divididas em 9 módulos distintos, com um peso total de 198 kg. As especificações técnicas das baterias do Chevrolet Volt estão descritas na tabela 7.

Tabela 7 – Especificações da Bateria Chevrolet Volt [51].

Especificações da Bateria	
Fabricante	LG Chem
Tipo de Bateria	Íões de lítio
Capacidade	45 Ah
Energia	16 kWh
Tensão nominal da bateria	355.2 VDC
Tensão nominal por célula	3.7 V
Peso total	198 kg
Número de células	288
Refrigeração	Activa, com capacidade de arrefecer ou aquecer

As células são agrupadas em divisões de plástico, sendo colocada uma folha de alumínio entre cada uma das células, com o intuito de distribuir uniformemente a temperatura. Desta forma, evita-se que partes da célula estejam demasiado quentes ou frias. A figura 11 apresenta os módulos das baterias do Chevrolet Volt.



Figura 11 – Módulos de baterias do Chevrolet Volt.

Como as células são sensíveis à temperatura, estas possuem um sistema de refrigeração independente do encontrado no motor a combustão. As células apresentam um bom funcionamento a temperaturas situadas entre os $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Caso as células excedam esses valores, entra em funcionamento um sistema de controlo térmico. Este sistema funciona caso o veículo esteja a carregar ou em andamento. O sistema utiliza um líquido que circula pelas baterias, que pode aquecer através de resistências ou ser arrefecido pelo sistema de ar-condicionado presente no veículo [52].

O modelo utilizado no teste de campo possui um pack de baterias de 16 kWh, com 10.2 kWh de energia útil. No entanto, em 2013, a bateria foi alvo de uma melhoria para 16.5 kWh com 10.8 kWh de energia útil e no corrente ano (2015) a bateria foi novamente modificada possuindo agora uma capacidade de 17.1 kWh [53].

O valor de energia útil é definido pelo sistema de controlo do veículo, com o intuito de maximizar a vida útil da bateria. Essa restrição é definida estabelecendo um valor mínimo de SOC igual a 35 %. Caso o veículo alcance esse o valor mínimo de SOC, então o motor de combustão interna é colocado em funcionamento em conjunto com o motor elétrico secundário, em modo gerador, por forma a manter ou aumentar o valor de SOC.

A General Motors oferece uma garantia de 8 anos ou 160000 km que abrange 161 componentes da bateria. No entanto, o fabricante do VE estima uma degradação da sua bateria de 10 a 30 % ao longo desse prazo. Refira-se também que a GM candidatou-se a uma patente que torna possível os técnicos repararem as células da bateria de forma rápida e barata [54].

2.3.2.2. Sistema de Tração / Voltec

Como referido anteriormente, o Chevrolet Volt possui um motor de combustão interna e duas máquinas elétricas, uma de tração e outra que funciona como gerador/tração, interligadas através de uma caixa planetária, a designada por *Voltec*, representada na figura 12.

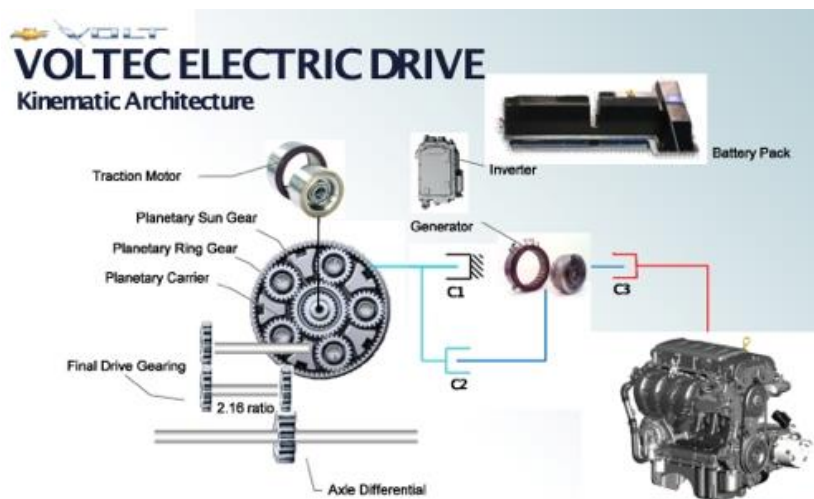


Figura 12 – Sistema de tração / Voltec.

O motor elétrico de tração tem uma potência de 111 kW (149 hp) de pico e 370 Nm de binário, estando este colocado sobre o eixo frontal de forma à sua potência ser aplicada diretamente a este.

O gerador tem uma potência total de 55 kW, sendo este alimentado por um motor de combustão interna a gasolina de 1400 cc, o qual dispõe de 60 kW (80 hp). Este conjunto tem a função de extensor de autonomia.

O motor a gasolina, à exceção de certos casos anteriormente referidos onde atua em conjunto com os motores elétricos de tração de forma a fornecer a potência pedida pelo condutor, tem como função trabalhar como gerador de energia ou extensor de autonomia. Como tal, o motor está otimizado de forma a ser 5 a 10 % mais eficiente que um motor comum a gasolina. Esta eficiência extra é obtida através do uso de gasolina com, no mínimo 91 octanas, uma taxa de compressão de 10.5:1 e um avanço no tempo de ignição [55].

Tendo em conta o facto de ser um sistema de suporte, pode acontecer que o motor a gasolina não seja utilizado durante longos períodos de tempo. Devido aos factos apresentados, a gestão eletrónica do motor de combustão interna possui um sistema que a cada 64 km de funcionamento (em modo totalmente elétrico) pede ao condutor para ligar o motor a gasolina por breves instantes.

Caso o condutor não responda a este pedido a gestão eletrónica liga o motor a gasolina em modo de manutenção para consumir um pouco de gasolina e circular os líquidos presentes no motor. Para preservar o estado da gasolina e evitar a sua evaporação, o tanque de combustível (de 35 L de capacidade) é selado e pressurizado, sendo portanto necessário despressurizar o tanque antes de ser atestado.

Em resumo, o sistema de tração do Chevrolet Volt, possui três formas de operação, sendo estas colocadas em funcionamento através de uma caixa planetária e três embraiagens hidráulicas controladas eletronicamente, permitindo assim os seguintes modos [56]:

- Um motor elétrico utilizado como tração primaria produzindo 111 kW, fornecendo uma boa aceleração para uma condução a baixas velocidades. Atua como gerador através das travagens regenerativas, sendo que a sua alimentação é feita exclusivamente através das baterias;
- Um motor elétrico para tração e um motor elétrico a funcionar como gerador capaz de produzir 55 kW alimentado a partir do motor de combustão interna de 63 kW. Este modo opera como um sistema híbrido em série. O sistema entra em funcionamento quando o SOC atinge um determinado valor, sendo possível fornecer ao motor elétrico de tração os 111 kW, mas apenas num curto intervalo de tempo;
- Dois motores elétricos de tração. Ao motor principal de tração é conectado um segundo motor elétrico de tração que anteriormente funcionava como gerador. Este é acoplado através da caixa planetária ao primeiro motor, reduzindo a sua velocidade. A sua utilização auxilia a partir dos 48 km/h ou em situações de maior carga. Esta combinação cria uma maior eficiência sem aumentar o valor da potência máxima;
- Dois motores elétricos e um motor de combustão interna de 63 kW, na mesma configuração do ponto anterior, sendo que entra em funcionamento o motor de combustão através da caixa planetária de forma a reduzir o consumo de energia pedido às baterias atuando entre os 48 e os 113 km/h, contribuindo dessa forma para uma maior autonomia.

O Chevrolet Volt está configurado para, no seu percurso, escolher automaticamente o modo mais eficiente de funcionamento, sendo assim o seu desempenho e eficiência a velocidades mais elevadas incrementada entre 10 a 15 %. Verifica-se, contudo, que o motor de combustão não pode ser utilizado como fonte única de tração [57].

Além desta seleção automática do modo, o condutor tem ao seu dispor quatro modos de condução: normal, desportivo, montanha e cidade.

Modos Disponíveis:

- Normal – atua como se de um modo automático se tratasse, ou seja, torna a condução o mais eficiente possível. Gere automaticamente a combinação de motores mais eficientes para uma determinada situação;
- Desportivo – faz uso constante do motor a gasolina, levando-o a uma rotação mais elevada, e define o pedal de acelerador para uma resposta mais rápida;
- Montanha – define o nível de SOC mínimo para 45 %, para manter o desempenho constante quando o veículo se encontra em subidas acentuadas ou longas. Este modo tem o inconveniente de o motor a gasolina produzir um barulho mais elevado, devido ao regime de funcionamento do motor;
- Cidade – permite ao condutor preservar a energia presente nas baterias, utilizando o motor a combustão em conjunto com o motor elétrico secundário em modo gerador, sendo este o principal fornecedor de energia ao motor elétrico primário. Desta forma, quando circular em cidade, pode andar em modo totalmente elétrico, desde que não atinja o nível de SOC mínimo.

Caso o motor a gasolina fique sem combustível durante o seu funcionamento, o sistema de gestão presente no Volt permite o uso das baterias abaixo do valor mínimo de SOC estipulado, sendo assim possível circular uns 4.8 a 6.4 km adicionais. Após este percurso, o sistema começa lentamente a reduzir a velocidade do veículo até este parar completamente.

2.3.2.3. Carregador

O Chevrolet Volt, ao contrário da maioria dos veículos atuais, ainda não permite cargas rápidas, sendo que este disponibiliza um conector de carregamento SAE J1772-2009. A figura 13 apresenta o carregador do Chevrolet Volt.



Figura 13 – Carregador do Chevrolet Volt.

O carregador / veículo define uma corrente máxima de carregamento, podendo esta ser de 12 A para 120 V, demorando 10 horas para uma carga completa ou 15 A para 240 V levando 4 horas para se obter uma carga completa.

2.3.2.4. Autonomia

O Chevrolet Volt é um automóvel híbrido *Plug-in*, como tal oferece diferentes valores de autonomia consoante o modo de funcionamento utilizado.

O modelo (2011 / 2012), utilizado nos testes de campo, anuncia uma autonomia em modo totalmente elétrico de 40 a 80 km dependendo do tipo de percurso, modo de condução e temperatura ambiente. A *Environmental Protection Agency* (EPA), por seu lado anuncia uma autonomia de 56 km para o modo totalmente elétrico. Caso as baterias estejam completamente carregadas e o tanque de combustível totalmente cheio, a autonomia anunciada é de aproximadamente 610 km [58].

Os modelos de 2013 / 2014 / 2015 têm uma autonomia de 61 km em modo elétrico. Com recurso ao motor a gasolina a autonomia é estendida para um total de 611.6 km segundo dados fornecidos pela EPA [59].

Como o Volt possui um motor a combustão o seu consumo é relevante para o custo total da deslocação, sendo que, através da norma UN ECE R101 criada para veículos *Plug-in* anuncia um consumo de 1.2 L/100 km [60].

2.4. Baterias dos Veículos Elétricos

Em 1800 Alessandro Volta descobriu que certos fluídos geram um fluxo contínuo de corrente elétrica quando utilizados como condutores. Esta descoberta conduziu à invenção da primeira célula voltaica ou bateria. Alessandro Volta descobriu ainda que a tensão aumentava quando as células voltaicas eram empilhadas umas sobre as outras, ou seja, quando ligadas em série. A figura 14 ilustra essa conexão.



Figura 14 – Pilha de Volta: Implementação prática.

A primeira célula voltaica produzia uma corrente contínua e estável, com a vantagem de perder pouca carga ao longo do tempo quando em repouso. Contudo, as versões seguintes da célula voltaica não conseguiram produzir uma tensão suficientemente elevada para produzir faíscas [61]. Ao longo das experiências realizadas, Volta concluiu que os materiais com melhores resultados eram o zinco e a prata.

A célula apresentava algumas desvantagens, uma delas envolvendo fuga do eletrólito e causando curto-circuitos devido ao peso dos discos que comprimiam o pano embebido em salmoura. Um escocês, William Cruickshank, resolveu este problema colocando os elementos numa caixa em vez de empilhá-los [62]. Outra desvantagem da bateria é o reduzido tempo de vida.

Estas desvantagens foram resolvidas ao longo dos anos, e novos tipos de baterias foram inventados, como a célula de *Bird's*, a célula de *Porous* e a célula gravitacional, entre outras que não serão abordados neste projeto. No entanto, estas células tinham a desvantagem de ficarem inoperacionais no fim de descarregadas, não sendo possível carregá-las novamente.

De forma a combater esta desvantagem, em 1859 Gaston Planté inventou a bateria de chumbo-ácido, a primeira bateria que pode ser recarregada pela passagem de uma corrente no sentido inverso através dela. A bateria de chumbo-ácido consiste num ânodo de chumbo e um cátodo de dióxido de chumbo submerso em ácido sulfúrico. Os dois elétrodos reagem com o ácido para produzir sulfato de chumbo, sendo que a reação no ânodo liberta eletrões enquanto a reação no cátodo consome-os, produzindo assim corrente. Estas reações químicas podem ser revertidas pela passagem de uma corrente inversa, resultando numa recarga da bateria.

Em comparação com outras baterias, a bateria de chumbo-ácido é bastante pesada e volumosa para a quantidade de energia que armazena. No entanto, consegue produzir grandes correntes e possuir uma baixa resistência interna, podendo ser aplicada em diversos tipos de equipamento [63].

A bateria de chumbo-ácido é ainda usada nos dias de hoje em automóveis e outras aplicações onde o peso não é um fator importante. O princípio básico subjacente a estas baterias não mudou desde 1859. No entanto, na década de 1930, utilizou-se um eletrólito gel (em vez de um líquido) produzido pela adição de sílica tendo como principal função fornecer energia aos rádios portáteis de tubos de vácuo. Na década de 1970, as versões seladas tornaram-se comuns, vulgarmente conhecida por bateria de gel ou *Sealed Lead Acid* (SLA), permitindo que a bateria possa ser usada em diferentes posições sem vazamentos ou falhas.

As baterias são classificadas como primárias, se produzirem energia elétrica somente enquanto os seus reagentes químicos não esgotarem, e secundárias caso a transformação de energia química em elétrica seja reversível, podendo ser recarregadas e utilizadas varias vezes. A bateria de chumbo-ácido foi a primeira bateria secundária.

Atualmente existe uma grande variedade de tipos de bateria. No entanto, nas secções seguintes apenas serão abordadas as baterias de Ni-MH por serem utilizadas nos veículos elétricos e híbridos e as baterias de lítio por serem as mais utilizadas nos veículos elétricos recentes.

2.4.1. Baterias de Ni-MH

As baterias de Nickel-Metal Híbrido (Ni-MH) começaram a ser desenvolvidas em 1967 no *Battelle-Geneva Research Center*, sendo que a sua pesquisa foi financiada durante quase duas décadas pela Daimler-Benz e pela Volkswagen AG. É um tipo de bateria recarregável, em que o eletrodo positivo é composto por oxihidróxido de níquel (NiOOH) e o negativo utiliza uma liga absorvente de hidrogénio, em vez do cádmio presente nas baterias de Nickel-Cádmio (Ni-Cd). Desta forma, as baterias de Ni-MH possuem uma capacidade duas a três vezes superior às de Ni-Cd. Têm uma densidade energética de 50 Wh/kg, uma densidade de potência de 1 kW/kg e uma estimativa de 500 ciclos (100 % DOD). Apresentam como vantagem a possibilidade de fornecer grandes correntes a uma tensão constante devido à sua baixa resistência interna.

As baterias de Ni-MH são utilizadas em diversas aplicações. Em 2008 mais de dois milhões de híbridos utilizavam baterias de Ni-MH [64]. No Japão, em 2010, 22 % dos portáteis possuíam baterias de Ni-MH; na Suíça, em 2009, a percentagem já se situava nos 60 % [65]. Esta percentagem tem vindo a descer ao longo do tempo devido à escolha dos fabricantes pelas baterias de lítio. No entanto, em 2015 a BASF modificou a microestrutura, tornando as baterias de Ni-MH mais duráveis e mais leves, permitindo obter um valor de densidade de energia de 140 Wh/kg [66].

As baterias de Ni-MH também foram utilizadas em veículos totalmente elétricos como o EV1 da General Motors, o Honda EV Plus, o Ford Ranger EV e a *scooter* Vectrix Electric. Alguns veículos híbridos também contam com este tipo de baterias como o Toyota Prius, o Honda Insight, o Ford Escape híbrido, o Chevrolet Malibu híbrido e o Honda Civic Hybrid.

A escolha destas baterias em detrimento das de lítio deve-se, atualmente, ao seu custo de produção mais reduzido [67].

2.4.2. Baterias de Lítio

As baterias de lítio começaram a ser desenvolvidas em 1912 por G.N. Lewis estando, contudo, apenas disponíveis a nível comercial somente a partir de 1970. As primeiras baterias tinham como desvantagem não possibilitarem um recarregamento. Como tal, iniciaram-se tentativas de desenvolver baterias recarregáveis de lítio. No entanto, como as baterias eram compostas por lítio, o metal mais leve de todos os elementos metálicos, possuíam um elevado potencial eletroquímico e uma maior densidade de energia por peso, resultando daí numa maior aceitação por parte dos consumidores. A densidade energética de uma bateria de lítio é tipicamente duas vezes superiores a de uma bateria de níquel-cádmio, sendo que existe ainda potencial para maiores densidades de energia.

As primeiras tentativas falharam devido a problemas de segurança provocados pela inerente instabilidade do metal lítio, especialmente durante o seu carregamento. De forma a colmatar esta instabilidade procedeu-se à troca do metal presente no lítio por iões de lítio, tornando assim o lítio não metálico. Embora ligeiramente inferior em densidade de energia que o metal de lítio, os iões de lítio são mais seguros, desde que sejam tomadas certas precauções durante o seu período de carga e descarga. Em 1991, a Sony Corporation comercializou a primeira bateria de iões de lítio, sendo desde então seguida pelos outros fabricantes.

As baterias de iões de lítio exigem pouca ou nenhuma manutenção, uma vantagem que a maioria das outras baterias não apresenta. Tendo em conta que não sofrem efeito de memória, não é necessário realizar ciclos completos para a bateria fornecer a sua capacidade total. A descarga residual “*self-discharge*” é menos de metade em comparação com as baterias de níquel-cádmio, tornando-as assim adequadas para consumos de longa duração. Refira-se que as baterias de iões de lítio tem pouco impacto no ambiente quando recicladas, já que possuem menos metais tóxicos que outros tipos de baterias como as de cádmio [68].

Apesar das suas vantagens, as baterias de iões de lítio são frágeis e requerem um circuito de proteção para o seu correto funcionamento, de nome *Battery Management System* (BMS), que tem como objetivo a proteção da bateria. O circuito limita a tensão máxima de cada célula durante a carga e impede que a tensão da célula desça abaixo de um certo valor na descarga. A temperatura da célula, dada a sua extrema importância, é monitorizada constantemente, evitando-se a ocorrência de temperaturas extremas.

As características de carga destas baterias são razoavelmente boas e comportam-se da mesma forma que as baterias de níquel-cádmio em termos de descarga. A tensão de uma célula é de 3.6 V permitindo que apenas se utilize uma célula ao invés de três células no caso das de níquel (3 x 1.2 V), sendo possível criar soluções com menor tamanho.

Na figura 15 é apresentada a evolução de tamanho de uma bateria, desde a bateria de chumbo-ácido, à bateria de Ni-Cd/Ni-MH e à bateria de lítio.

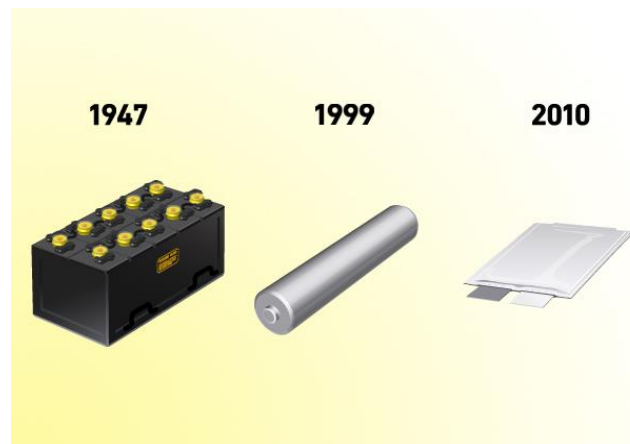


Figura 15 – Evolução do tamanho das baterias ao longo do tempo [80].

Existem diferentes variantes de baterias lítio, sendo os valores da densidade de energia apresentados na figura 16, e comparados com os valores correspondentes de outros tipos de químicas.

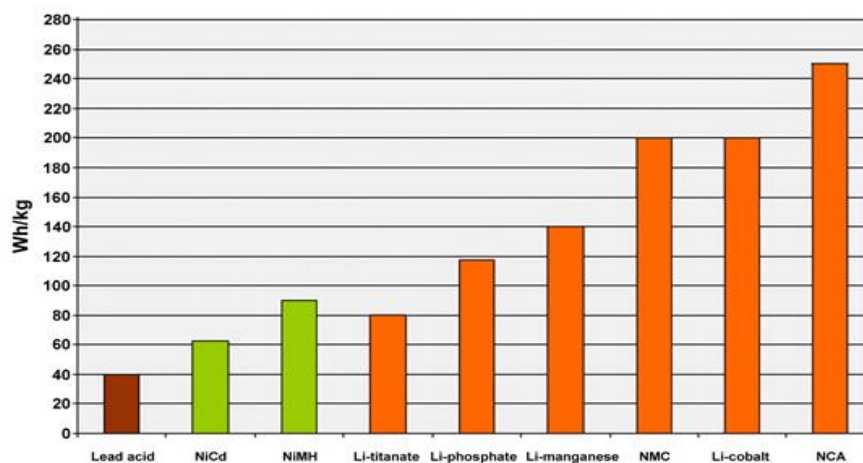


Figura 16 – Comparação das diferentes químicas de bateria [68].

Os veículos utilizados nos testes de campo no decurso deste projeto, contêm baterias de lítio-mangânês, que utiliza dióxido de manganês (MnO_2) no cátodo. Estas baterias têm a vantagem de utilizarem um material abundante na Terra, tornando a sua produção mais barata, não tóxica e com melhor estabilidade térmica [69].

2.4.3. Estado de Carga (SOC)

O estado de carga de uma bateria ou *State of Charge* (SOC) indica a percentagem de carga da bateria, variando entre 0%, para a bateria totalmente descarregada e 100 % para totalmente carregada. Existe ainda o oposto, que mede o nível de descarga da bateria, o *Depth of Discharge* (DOD) normalmente utilizado para caracterizar o tempo de vida da bateria. A escala utilizada é em percentagem, sendo 0 % para totalmente carregada e 100 % para totalmente descarregada.

O SOC é um valor que não pode ser medido, sendo obtido através de estimativas de diferentes variáveis. Estas variáveis são alcançadas de duas formas diferentes, *offline* e *online* [70]. A leitura *offline* é obtida através do carregamento e descarregamento da bateria a um ritmo constante e utilizando um contador de Coulomb. Este método oferece uma estimativa precisa do SOC, no entanto, tem a desvantagem de ser um método dispendioso e interromper o funcionamento da bateria. Por outro lado a leitura *online* é feita através da leitura de um dos seguintes valores:

- Química;
- Tensão;
- Contagem de *Coulomb*;
- Filtro *Kalman*;
- Pressão.

Neste projeto vamos apenas aprofundar a leitura por tensão e contagem de *Coulomb*, visto serem os métodos mais utilizados e presentes nos VE utilizados neste projeto.

A leitura de tensão converte o valor lido da tensão da bateria em SOC, utilizando a curva de descarga conhecido (tensão vs SOC) da bateria. No entanto, a tensão é significativamente afetada pela corrente da bateria (devido à cinética eletroquímica) e pela temperatura. Este método pode ser mais preciso através da compensação do valor da tensão lido em proporção à corrente atual ou através de uma tabela com a tensão em circuito aberto vs temperatura.

A leitura por contagem de Coulomb é obtida através da leitura da corrente e o integral no tempo. Este método tem o problema de descalibrar com o tempo devido à falta de um ponto de referência. Como tal, é necessário calibrar o SOC regularmente através do uso de um carregador, sendo que quando o carregador apresenta bateria carregada o SOC é definido como sendo igual a 100 %.

2.4.4. Estado de Saúde (SOH)

O estado de saúde de uma bateria ou *State of Health* (SOH) representa a condição em que a bateria se encontra em relação às suas especificações. Um SOH de 100 % significa que a bateria condiz exatamente com as especificações do fabricante. Normalmente este valor apenas é obtido no momento da produção sendo que o seu valor decresce com o tempo e com a utilização.

O SOH não corresponde a um valor físico e não há nenhum consenso na indústria em como o SOH deve ser determinado. No entanto o sistema de gestão da bateria pode utilizar um dos seguintes parâmetros (isoladamente ou em combinação) para derivar um valor arbitrário para o SOH [70]:

- Resistência / impedância / condutividade interna;
- Capacidade;
- Tensão;
- *Self-discharge*;
- Capacidade de aceitar carga;
- Número de ciclos realizados.

Estes parâmetros são previamente inseridos no sistema de gestão da bateria de forma a efetuar uma comparação com os valores recolhidos pelo sistema. A temperatura também possui alguma importância na medição já que afeta diretamente a capacidade da bateria.

2.5. Modos de Carregamento

Os veículos elétricos consoante o modelo podem oferecer mais do que um modo de carregamento. Os modos são estabelecidos através da *International Electrotechnical Commission* (IEC), sendo esta responsável pela padronização da tecnologia, eletrónica e relacionados. Como tal, estabeleceu a norma IEC 62196 que define os vários modos de carregamento e tipos de conectores.

A norma estabelece 4 modos:

- Modo 1 – Carga lenta através de uma tomada convencional. A corrente é limitada a 16 A e 250 V (monofásica) ou 480 V (trifásica). A ligação a terra é obrigatória;
- Modo 2 – Carga lenta através de uma tomada convencional mas com equipamento de proteção requerido para veículo elétrico (ex: caixa de controlo), tendo esta de estar ligada à terra e não pode estar a mais de 30 cm da tomada. A corrente está limitada a 32 A para 250 V (monofásica) ou 480 V (trifásica);
- Modo 3 – Carga lenta ou rápida através de um carregador específico para veículos elétricos (EVSE) que implementa funções de controlo. Este modo utiliza um conector IEC 61851-1 em cada ponta do cabo ou uma ligação SAE J1772. Com o conector IEC 61851-1 é possível uma corrente de 32 A ou 250 A com cabos específicos. Ambos os conectores implementam uma comunicação entre o VE e o carregador. Como tal, é possível a integração do carregador numa rede inteligente;
- Modo 4 – Carga rápida através de corrente contínua permitindo uma corrente máxima de 400 A. Para este tipo de carga pode ser utilizado um conector CHAdeMO, que apenas permite VE que tenham esse tipo de conector a carregar, estando este limitado a 500 VDC e 125 A. Como o conector suporta a leitura do barramento CAN do veículo o carregador é informado em tempo real do estado da bateria.

2.6. Carregadores

O carregador é um dos componentes mais importantes do veículo elétrico. Excetuando a travagem regenerativa ou os extensores de autonomia, o veículo não possui outro meio para efetuar o carregamento das suas baterias. Os carregadores estão divididos em 3 níveis:

- Nível 1 – Típico carregador incluído na compra do veículo capaz de fornecer 3.3 kW (230 V/16 A), sendo este mais que suficiente para quem percorre distâncias curtas ou passa a maioria do tempo parado (7 / 8 horas para uma carga completa no caso do Nissan Leaf);
- Nível 2 – Carregador capaz de fornecer até 19.2 kW, mas o mais comum é estar limitado a 6.6 kW quando instalado numa casa ou num posto de abastecimento. Este tipo de carregador é o mais utilizado por condutores que necessitem de uma autonomia um pouco superior à que o veículo é capaz de fornecer ou se este possuir uma bateria de elevada capacidade (ex. Tesla Model S) onde um carregamento completo através do

nível 1 demora mais de 8 horas. O custo médio de um carregador nível 2 para uso doméstico é de atualmente na ordem dos 2000 €;

- **Nível 3** – Carregador de carga rápida apenas disponível nas estações de carregamento. Atualmente os postos de carregamento rápido são capazes de fornecer mais de 40 kW (ex. 44 kW para o Nissan Leaf e 120 kW para o Tesla Model S), sendo que no futuro se prevê um aumento substancial desse valor. Este tipo de carregador é mais utilizado em paragens de curta duração, em média com um tempo máximo de 30 minutos capaz, no caso do Nissan Leaf, de carregar a bateria dos 0 aos 80 %.

Atualmente os postos de carregamento rápido são composto por carregadores CHAdeMo, SAE CCS e supercarregadores Tesla. Na tabela 8 são apresentados os diferentes modos de carregamento disponíveis para um VE percorrer 100 km, os correspondentes valores de tempo, potências, tensão e corrente.

Tabela 8 – Modos de Carregamento

Modos de Carregamento			
Tempo	Potência	Tensão	Corrente
6 a 8 horas	3.3 kW (monofásico)	230 VAC	16 A
3 a 4 horas	7 kW (monofásico)	230 VAC	32 A
2 a 3 horas	10 kW (trifásico)	400 VAC	16 A
1 a 2 horas	22 kW (trifásico)	400 VAC	32 A
20 a 30 min	43 kW (trifásico)	400 VAC	63 A
20 a 30 min	50 kW (DC)	400 a 500 VDC	100 a 125 A
10 min	120 kW (DC)	300 a 500 VDC	300 a 350 A

2.7. Conectores para Carregamento do VE

A massificação do uso de veículo elétricos e *Plug-in*, motivou a necessidade de se implementar um padrão para efetuar a ligação do veículo ao carregador.

Os construtores de automóveis têm vindo a adaptar esse padrão sendo que, atualmente, os veículos elétricos à venda possuem um conector com a norma SAE J1772 e / ou CHAdeMO e no futuro uma combinação dos dois no mesmo conector, tendo este o nome de SAE CCS. A Tesla, no entanto, utiliza um conector próprio assim como estações de carregamento proprietárias as *Tesla Supercharger Station*.

2.7.1. SAE J1772

O padrão SAE J1772 tem origem norte-americana e foi criado em 2001, tendo sido implementado a partir de 2006. O padrão tinha a designação de SAE J1772-2001 e era capaz de suportar 6.6 kW. Foi criado pela *Society of Automotive Engineers* (SAE) que define o seu aspeto físico, o protocolo de comunicação usado e o desempenho do carregador, assim como o do conector [71].

A figura 17 apresenta um conector SAE J1772-2001. O intuito deste padrão é definir um conector comum a todos os veículos elétricos estabelecendo assim uma compatibilidade entre diferentes marcas de automóveis com os postos de carregamento disponíveis.

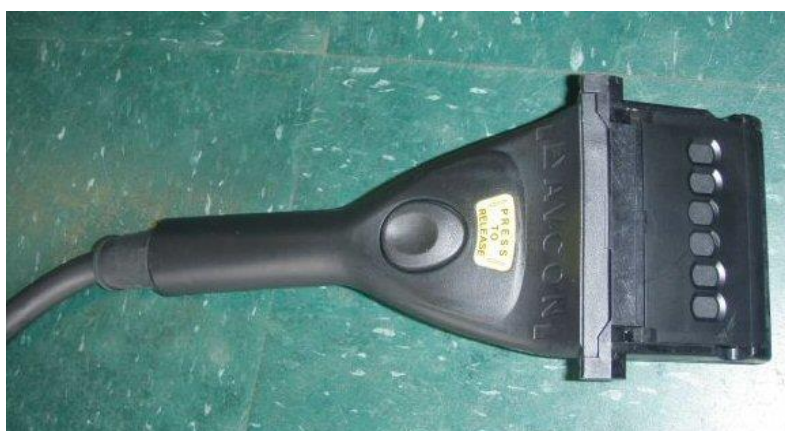


Figura 17 – Conector SAE J1772-2001.

Em 2009, devido à necessidade de maior potência suportada, criou-se o SAE J1772-2009. Este padrão teve o apoio de fabricantes de automóveis como a Smart, Chrysler, GM, Ford, Toyota, Honda, Nissan e Tesla. Para o conector foi proposto um novo desenho, desta vez com um formato redondo desenhado por Yazaki, tendo como objetivo uma potência final suportada de 19.2 kW ou 80 A a 120 / 240 VAC. Além do formato, o conector conta com a norma IEC 62196-2, que define o tamanho final, criando maior compatibilidade e permutabilidade dos pinos, assim como das partes acessórias do conector. O conector fica definido como sendo do tipo 1, suportando ligações monofásicas.

Quando o carregamento é realizado usando uma tomada monofásica de 120 V é considerado carregamento de nível 1, se for utilizada uma tomada de 240 V será carregamento de nível 2.

Com o surgir do *standard* SAE J1772-2009, os fabricantes decidiram incluir uma variante Tipo 2 ou IEC Tipo 2 “Mennekes”, como padrão nos seus veículos. Desta forma, continua a ser possível a conversão entre o tipo 1 e tipo 2 através de adaptadores passivos, uma vez que todos os conectores IEC usam o mesmo protocolo, o SAE J1772.

É possível encontrar o tipo 2 em veículos como o Chevrolet Volt / Opel Ampera, BMW i3, Nissan Leaf, entre outros.



Figura 18 – Conector SAE J1772-2009.

O conector SAE J1772-2009, como referido anteriormente, suporta ligação monofásica 120 / 240 V. Tem um formato redondo com um diâmetro de 43 mm, contendo 5 pinos de três tamanhos diferentes, como se pode observar na figura 18:

- Os dois pinos de tamanho superior aos restantes são os de ligação monofásica (fase e neutro);
- Um pino de tamanho inferior tem a função de massa;
- Os dois pinos restantes são os mais pequenos presentes no conector, tendo estes a função de deteção de proximidade e controlo.

2.7.2. Comunicação SAE J1772

Os dois pinos mais pequenos presentes no conector SAE J1772-2009, pino de proximidade e pino de controlo, possuem uma tensão de 12 V, permitindo analisar em tempo real as diferenças de tensão. O presente protocolo permite a implementação das funções de forma simples, utilizando eletrónica simples, ao contrário do protocolo CAN utilizado no CHAdeMO ou *EnergyBus* que necessita de eletrónica mais avançada [72]. Devido à sua natureza simples é considerado um protocolo robusto, suportando temperaturas desde os -40 °C aos 85 °C.

Pino de deteção de proximidade:

O pino de deteção de proximidade tem como função informar o veículo que o carregador está conectado e que é do tipo AC. Esta última função não permite que o veículo se desloque se o carregador estiver conectado.

Pino de controlo:

O pino de controlo tem as seguintes funções:

- Informar o carregador da presença do veículo;
- Verificar se o carregador é adequado para o veículo;
- Informar o carregador que o veículo está pronto para carregar;
- Determinar se é necessário o veículo recorrer a ventilação;
- Proporcionar informação de controlo de energia enviado pelo veículo;
- Verificar a ligação de massa entre o veículo e o carregador;
- Informar acerca da duração da carga determinada pelo veículo;
- Interromper a carga quando é desligado o conector.

Na figura 19 é possível ver que o pino de controlo está permanentemente ligado através de um díodo e uma resistência de 2740 Ω (R3), provocando uma queda de tensão dos 12 V para os 9 V. Esta queda informa o carregador que o veículo está presente, obrigando o carregador a alterar os 12 V contínuos para o modo de onda quadrada de 1 kHz, com um intervalo de tensão de 12 V e tolerância de ± 0.4 V.

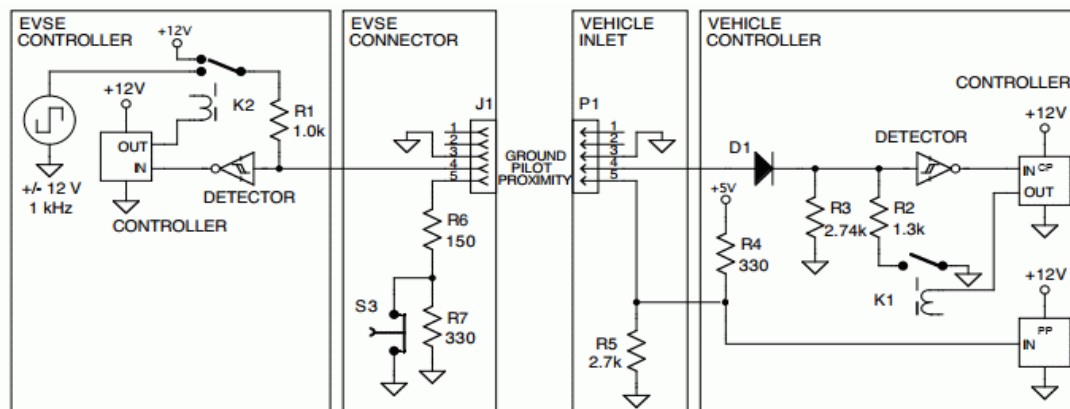


Figura 19 – Esquema de ligação J1772 [72].

Se o veículo necessitar de ser carregado é ligado uma resistência em paralelo de 1300 Ω (R2) resultando numa resistência equivalente de 880 Ω e numa queda de tensão para os 6 V ficando o veículo em modo de carregamento. Caso seja necessário usar ventilação durante o carregamento, pelo facto do veículo se encontrar num espaço fechado, em vez da resistência de 1300 Ω (R2) é conectada uma resistência de 270 Ω , criando uma resistência equivalente de 240 Ω e uma queda de tensão para os 3 V. Caso não exista ventilação disponível o carregamento não se inicia. Na tabela 9 é apresentado o funcionamento do carregador em função da tensão.

Tabela 9 – Modos disponibilizados pelo carregador com conector J1772 [72].

Modos J1772				
Resistência total pino de controlo	Resistência R2	Resistência R3	Tensão pino de controlo	Estado Carregador
Aberto	--	--	+12 V	Standby (Modo A)
2700 Ω	--	--	+9 \pm 1 V	Veículo detetado (Modo B)
880 Ω	1300 Ω	2740 Ω	+6 \pm 1 V	A carregar (Modo C)
240 Ω	270 Ω	--	+3 \pm 1 V	Ventilação (Modo D)
--	--	--	\pm 0 V	Desligado (Modo E)
--	--	--	-12 V	Erro (Modo F)

Se o pino de controlo estiver em aberto, o conector não apresenta nenhuma tensão nos dois pinos principais. No entanto, a norma permite um carregamento de 16 A através dos pinos principais. A onda quadrada presente no pino de controlo pode ser modulada através de *Pulse Width Modulation* (PWM), sinalizando a corrente máxima que está disponível no carregador. O valor do *duty cycle* da onda PWM pode ser consultado na tabela seguinte:

Tabela 10 – PWM presente no pino de controlo do conector J1772.

PWM Pino de Controlo		
PWM	SAE contínuo ¹	SAE de pico*
90 %	Modo carga rápida	--
50 %	30 A	36 A
40 %	24 A	30 A
30 %	18 A	22 A
25 %	15 A	20 A
16 %	9.6 A	--
10 %	6 A	--

2.7.3. CHAdeMO

O conector CHAdeMo (figura 20) foi desenvolvido pela Nissan, *Tokyo Electric Power Company* (TEPCO), Mitsubishi, Subaru e Toyota e implantado pela primeira vez no Japão [74], sendo a Nissan a pioneira na implementação do conector no seu modelo Leaf.



Figura 20 – Conector CHAdeMO.

A TEPCO tem a patente da tecnologia e das suas especificações. O conector JARI DC suporta até 500 VDC e 125 A (62.5 kW), sendo que este cumpre a norma JEVS-G105-1993. No entanto, atualmente apenas se utilizam valores de potência até os 40 kW, seja pelo limite imposto pelo veículo, pelo carregador ou pela rede elétrica. O carregamento quando é efetuado com estas potências é considerado de nível 3.

¹ O SAE define a capacidade de corrente que o conector do carregador e do veículo suportam, assim como o cabo de ligação com o carregador. Este valor é obtido através de um ciclo completo 1000 μ s (sinal de 1 kHz) sendo que 10 μ s equivalem a 0.6 A, com o mínimo valor de sinal de 100 μ s o que equivale a 6 A e o máximo de 800 μ s equivalendo a 48 A.

Além da energia, o conector possui uma ligação CAN que possibilita a troca de informação entre o veículo e o carregador semelhante à SAE J1772. No entanto, a ligação CAN adiciona informação como a tensão pedida, a capacidade total da bateria e o instante de início e de fim do carregamento. Este tipo de informação permite ao carregador variar a corrente de saída. Na figura 21 é apresentado o esquemático do conector CHAdeMO.

Atualmente, encontram-se à venda os seguintes VE com conector CHAdeMO: Citroën C-ZERO, Kia Soul EV, Mitsubishi i MiEV, Mitsubishi Outlander PHEV, Nissan Leaf, Peugeot iOn, sendo que para o Tesla Model S e a Zero Motorcycles o carregamento é feita através de um adaptador.

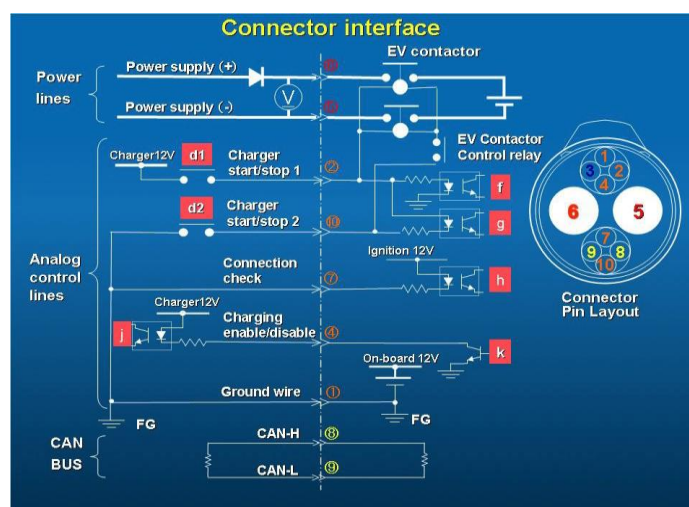


Figura 21 – Esquemático conector CHAdeMO [74].

Tendo em conta o valor da potência envolvida, este tipo de carregadores apenas se encontra disponível em postos de carregamento ou representantes oficiais das marcas de veículos elétricos.

Atualmente, existem diversas empresas a produzir este tipo de carregadores rápidos a nível global. Entre elas refira-se a Aker Wade Power Technologies nos EUA que tem contrato com a TEPCO para produzir carregadores de acordo com o protocolo CHAdeMO, a Eaton Corporation que produz carregadores compatíveis com o protocolo CHAdeMO e com o Mitsubishi iMiEV, a ECotality e a AeroVironment produzem carregadores com duas portas CHAdeMO. A americana Fuji Electric Corporation produz um carregador que suporta 25 kW e protocolo CHAdeMO e a ABB produz dois carregadores, um que suporta 20 kW e outro que suporta 50 kW. Ainda no mercado Americano a Andromeda Power introduziu o primeiro carregador rápido DC portátil que suporta o protocolo CHAdeMo e uma potência de 50 kW, como se pode observar na figura 22. Pode ainda incluir uma ligação 3G/4G, *wireless* ou LAN de forma a comunicar remotamente com o carregador.



Figura 22 – Carregador rápido DC portátil da Andromeda Power [74].

No mercado europeu as empresas ABB, Circontrol, Epyon, Evtronic, GH EverDrive, Schneider-Electric, e SGTE Power, fabricam também carregadores rápidos DC com a última versão do protocolo CHAdeMO.

2.7.4. SAE CCS

O conector SAE *Combined Charging Standard* (CCS) resulta da combinação do conector J1772-2009 e do CHAdeMO. Este tem como objetivo reduzir os custos de produção e o espaço ocupado no veículo quando ambos se encontram instalados.

As suas especificações são semelhantes aos dois conectores referidos anteriormente, suportando carregamentos de nível 1, 2 e 3. O carregamento de nível 3 adicional suporta uma maior potência devido ao aumento dos pinos DC. Em termos de comunicação, além dos protocolos suportados anteriormente, é incorporado um sistema de *Power Line Communication* (PLC) que utiliza o pino de controlo do conector J1772-2009, representado na figura 23.



Figura 23 – Conector Combined Charging Standard (SAE CCS).

O novo tipo de comunicação, utiliza a norma IEEE P1901 de forma a permitir troca de informação entre o veículo, o carregador e a *smart grid*. Desta forma permite uma ligação *Internet Protocol* (IP), seja por cabo ou *wireless* através da HomePlug Green PHY (protocolo não abordado neste projeto), como por exemplo o contador, o distribuidor de energia e outros carregadores presentes na rede.

2.7.5. Tesla Supercharger Station

A Tesla além de produzir veículos elétricos também produz os carregadores e postos de carregamento para os seus veículos. As primeiras estações de carregamento surgiram em 2013 e permitiam carregar o Tesla Model S em menos de uma hora. Além do carregamento, as estações foram concebidas para efetuar a troca da bateria. No entanto, somente em dezembro de 2014 é que abriu a primeira estação de carregamento que suportava essa funcionalidade, sendo que a troca necessitava de ser agendada previamente e demorava 3 minutos a efetuar. Esta opção ainda não foi implementada em outras estações já que ainda se encontra em fase de estudo de viabilidade económica [75].



Figura 24 – Supercarregador da Tesla.

O número de postos de carregamento da Tesla tem vindo a aumentar gradualmente, sendo que em fevereiro de 2015 existiam 2000 supercarregadores divididos pelas 400 estações de carregamento espalhadas a nível mundial [76].

O supercarregador da Tesla, representado na figura 24, suporta 120 kW, sendo que anteriormente suportava 90 kW e no futuro irá suportar 150 kW. Cada supercarregador carrega dois veículos e tem a função de balanceador de carga, isto é, se os veículos tiverem o mesmo valor de SOC, o valor de potência é dividido igualmente em 60 kW para cada veículo, podendo ir até uma proporção de 90 kW / 30 kW.

2.8. Sumário e Conclusões

O veículo elétrico ainda tem um longo percurso a efetuar até se tornar competitivo, como se comprova pela sua história. No entanto, os veículos elétricos atualmente disponíveis no mercado já se aproximam do custo dos veículos de combustão, apresentando como maior desvantagem a sua autonomia.

Os veículos utilizados nos testes de campo deste projeto, o Nissan Leaf e o Chevrolet Volt, permitiram explorar duas tipologias de veículos diferentes, a puramente elétrica e a híbrida, respetivamente. O facto de utilizarem conceitos diferentes permite que sejam usados em ambientes diferentes, sendo o Nissan Leaf projetado para percursos mais pequenos e o Chevrolet Volt para a realização de viagens mais longas, uma vez que pode recorrer aos postos de combustível convencionais devido ao seu motor de combustão interna.

A evolução observada na tecnologia das baterias tem tornado o veículo elétrico mais competitivo. No entanto, o valor do seu peso e capacidade é ainda um fator limitativo, assim como o seu carregamento que demora um tempo substancialmente superior ao que é necessário para encher um depósito de combustível.

Os carregadores têm acompanhado a evolução do veículo elétrico, sendo que atualmente a sua evolução centra-se na comunicação com o veículo e a rede, de forma a poder fornecer um carregamento dinâmico e a responder aos pedidos da rede.

3. ESTADO DA ARTE: PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

3.1. Introdução

No presente capítulo pretende-se apresentar o protocolo CAN, protocolo em destaque nos veículos elétricos utilizados no decurso deste projeto. Para complementar a informação recolhida serão apresentados exemplos de dados recolhidos de ambos os veículos, e sua respetiva análise. É ainda realizada uma análise comparativa entre os diferentes sistemas de comunicações móveis e as redes sem fios responsáveis pelo envio de informação entre o veículo e a internet. A figura 25 apresenta os diferentes protocolos de comunicação e a arquitetura de ICT que permite a recolha da informação no veículo e a sua disponibilidade na *internet*.

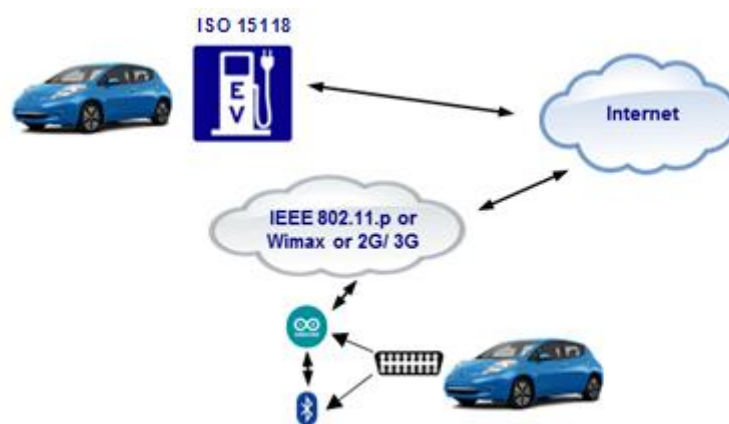


Figura 25 – Arquitetura de comunicação.

3.2. Protocolo CAN

O protocolo CAN começou a ser desenvolvido em 1983 pela empresa Robert Bosch GmbH, no entanto, só em 1986 foi lançado oficialmente pela SAE, entrando no mercado em 1987 [77].

A sua aplicação vai desde ligações de baixo custo até redes de alta velocidade, como é o caso da eletrónica automóvel, uma vez que se trata de um protocolo de comunicação série síncrono, capaz de suportar eficazmente o controlo de sistemas distribuídos em tempo real e com um elevado nível de segurança. Durante o seu desenvolvimento existiram diversas versões, sendo a última a CAN 2.0 A / B, publicada em 1991. A versão CAN 2.0A utiliza o formato padrão com um identificador de 11 bits e a CAN 2.0B um formato de identificação alargado de 29 bits [78].

Em 1993 a *International Organization for Standardization* (ISO) publicou a norma ISO 11898, que mais tarde foi reestruturada em três partes distintas: a norma ISO 11898-1, que abrange a camada *Data link layer*, a norma ISO 11898-2, que especifica a camada física de comunicação de alta velocidade da rede CAN e a norma ISO 11898-3, que foi introduzida mais tarde com o objetivo de especificar a camada física de comunicação de baixa velocidade e tolerante a erro. No entanto, as normas responsáveis pelas camadas físicas 11898-2 e 11898-3, não fazem parte das especificações da Bosch CAN 2.0.

A compatibilidade entre diversos dispositivos é garantida através de 3 camadas, tendo como base o modelo *Open Systems Interconnection* (OSI):

- Aplicação (*object layer*);
- Transferência de dados (*transfer layer*);
- Física (*physical layer*).

Na figura 26, é possível observar as camadas de aplicação e ligação que compreendem todos os serviços e funções da camada ligação de dados (*data link*) definida pelo modelo OSI.

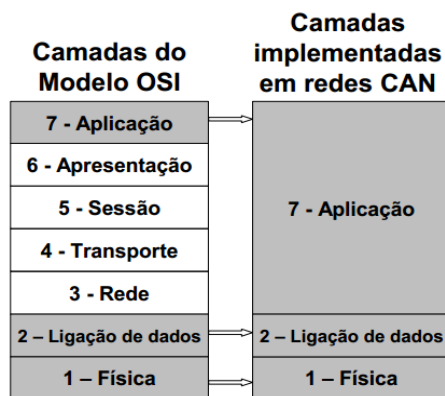


Figura 26 – Camadas Modelo OSI e camadas Modelo CAN.

A camada aplicação (*object layer*) possui as seguintes funções:

- Define as mensagens a transmitir;
- Define qual das mensagens recebidas pela camada de transferência de dados (*transfer layer*) vai ser utilizada;
- Proporciona uma interface com o *hardware* (*application layer*).

A camada transferência de dados (*transfer layer*) é responsável pela:

- Gestão do protocolo de transferência de dados;
- Verificação e sinalização de erros;
- Decisão se o barramento está livre para iniciar uma nova transmissão, ou se uma recepção vai começar.

Finalmente a camada física (*physical layer*) efetua a transferência dos bits entre os diferentes nós da rede.

As redes CAN apresentam as seguintes características principais [79]:

- Comprimento dos barramentos: 40 metros @ 1 Mbps até 1 km @ 50 kbps;
- Taxa de transferência de dados de: 10 kbps até 1 Mbps;
- Capacidade de dados de: 0 até 8 bytes por mensagem;
- Comprimento das mensagens: máximo de 130 bits;
- Priorização de mensagens;
- Garantia de tempos de latência;
- Flexibilidade de configuração dos sistemas e redes;
- Recepção multi-difusão (multicast) com sincronização de tempo;
- Sistema de consistência de dados;
- Arquitetura multi-mestre;
- Detecção e sinalização de erros;
- Retransmissão automática de mensagens corrompidas quando o barramento estiver de novo disponível;
- Distinção entre erros temporários e falhas permanentes de nós e desligamento automático de nós que apresentem falhas.

3.2.1. Arquitetura CAN

A rede CAN tem uma arquitetura multi-mestre onde são conectados diferentes módulos, formando assim diferentes nós. No mínimo, são necessários dois módulos para formar uma rede CAN, sendo que, atualmente, um veículo pode possuir mais de 70 módulos. Todos os módulos da rede CAN têm direitos iguais, isto é, num determinado momento qualquer módulo pode enviar uma mensagem, sendo estas enviadas em *multicast*, ou seja, são enviadas para todos os módulos existentes na rede [80].

A rede CAN tem um funcionamento semelhante ao protocolo CSMA/CD + NDA (*Carrier Sense Multiple Access with Non-Destructive Arbitration*), garantindo que todos os módulos verificam o estado do barramento antes de iniciarem a comunicação, analisando assim se outro módulo está a enviar uma mensagem com maior prioridade. Caso isto se verifique, o módulo cuja mensagem for de menor prioridade interrompe a sua transmissão e o módulo com a mensagem de maior prioridade inicia o seu envio. No final o módulo com a mensagem de menor prioridade continua o seu envio sem que este tenha que ser reiniciado [81].

Os diferentes módulos da rede não possuem endereços. As mensagens que enviam possuem identificadores usados tanto para definir prioridades no envio como para os restantes módulos presentes na rede decidirem se a mensagem em trânsito deve ser processada ou ignorada. Os identificadores com menor valor binário têm maior prioridade [81, 82].

Outra característica importante é o conceito *Non Return to Zero* (NRZ), onde os dados não são representados pelos níveis lógicos 0 ou 1, mas sim por valores de tensão específicos e constantes, ou seja, por bits dominantes e bits recessivos criados em função da condição presente nos fios CAN_H e CAN_L (figura 27). A velocidade de transmissão de dados é inversamente proporcional ao comprimento do barramento. A maior taxa de transmissão especificada é de 1 Mbps para um barramento de 40 metros e a menor taxa é de 50 kbps para barramentos de 1000 metros. A figura 28 mostra a relação entre o comprimento da rede (barramento) e a taxa de transmissão de dados [81, 82].

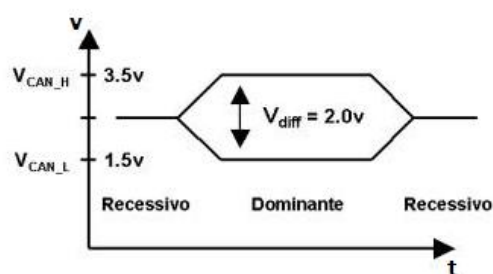


Figura 27 – Níveis de tensão (“0” e “1”) e bits dominantes e recessivos.

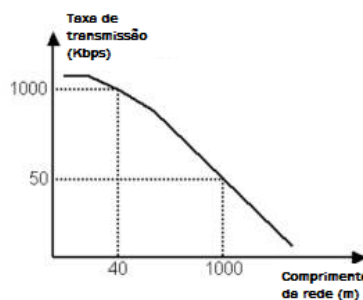


Figura 28 – Taxa de transmissão em função do comprimento da rede.

Em relação à arquitetura e implementação dos barramentos CAN, podem ser utilizados 1, 2 ou 4 fios. Nas redes com 1 fio, chama-se a este, fio de dados ou linha CAN.

As redes com 2 e 4 fios usam como sinais de dados o *CAN High* (CAN_H) e *CAN Low* (CAN_L), sendo que, nas redes com 4 fios existem mais dois, dedicados à alimentação (Vcc) e à massa (GND). Nos barramentos com 2 ou 4 fios, estes não podem ser blindados e devem ser entrançados, para que os efeitos causados por interferências eletromagnéticas possam ser atenuados. Assim, qualquer interferência é induzida de forma semelhante em ambos os condutores causando perturbação em ambos os sinais, no mesmo sentido e com igual intensidade. Desta forma, e como os dados são interpretados pelos módulos através da análise da diferença de potencial entre os sinais CAN_L e CAN_H, e esta diferença permanece inalterada (devido à atenuação), a comunicação não é prejudicada [81, 82].

3.2.2. Barramento CAN nos Automóveis

O conector *On-Board Diagnostics* (OBD) começou a ser implementado em 1968 pela Volkswagen e nos anos subsequentes por outras marcas, sendo inicialmente designado por OBD-I e sendo o conector colocado num local designado pelo fabricante. A leitura de erros era efetuada por meio de um shunt nos pinos do conector, os quais ativavam a luz de avaria no quadrante de forma a esta iniciar uma sequência de ligar/desligar indicando o código do erro.

Em 1994, a General Motors introduziu o OBD 1.5, sendo este protocolo uma implementação parcial do OBD-II, possibilitando uma leitura dos erros pela porta de diagnóstico assim como o valor dos sensores presentes no veículo.

À medida que o nível de equipamento e funções presentes no veículo aumentaram, verificou-se a necessidade de aceder a estes de forma mais simples e eficaz. Para o efeito, procedeu-se à evolução para a OBD-II, tendo este que satisfazer as especificações impostas pela norma ISO 15031-3:2004 – J1962 de 16 pinos, correspondentes ao conector representado na figura 29.

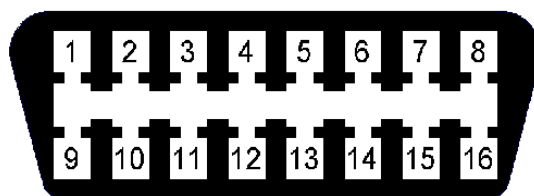


Figura 29 – Conector OBD – J1962 de 16 pinos.

A norma OBD-II especifica o tipo de conector de diagnóstico, assim como a disposição dos pinos, os protocolos disponíveis e o formato das mensagens. Fornece ainda a lista de parâmetros do veículo que podem ser monitorizados assim como a forma de os interpretar.

O conector disponibiliza ainda um pino (nº16) com +12 V e dois com massa, o pino nº4 massa do chassi, e o pino nº5 massa do sinal, sendo estes capazes de fornecer energia para um equipamento que esteja a eles conectado.

Nos veículos europeus é encontrada uma porta equivalente, mas com a designação *European On Board Diagnostics* (EOBD), implementando as mesmas funções e protocolos presentes numa porta OBD-II [83].

Atualmente, existem 5 protocolos presentes num conector OBD-II. No entanto, apenas o protocolo ISO 15765-4 CAN será abordado nesta tese. O referido protocolo foi desenvolvido pela Bosch e recentemente adotado (2011) para ambiente automóvel e industrial. Existe uma grande diversidade de aplicações deste último, sendo possível encontrar implementações com velocidades de 250 kbps ou 500 kbps. A tabela 11 apresenta os diversos padrões da CAN disponíveis no conector OBD.

Tabela 11 – Padrões Rede CAN disponíveis no conector OBD

Padrões CAN	
Protocolo	Descrição
ISO 11898-1	CAN bus com camada de ligação e sinalização física
ISO 11898-2	CAN bus de alta velocidade com acesso médio
ISO 11898-3	CAN bus de baixa velocidade, tolerante a falhas e dependência média da interface
ISO 11898-4	CAN bus com comunicação Time-Triggered
ISO 11898-5	CAN bus de alta velocidade e acesso médio com função de baixa potência
ISO 11898-6	CAN bus de alta velocidade com médio acesso e função seletiva de acordar nós
ISO 11992-1	CAN bus com tolerância a falhas para comunicação indicada para comunicação de camiões ou reboques
ISO 11783-2:	Comunicação para aplicações na agricultura com velocidade de 250 kbps
ISO 15765-4	CAN bus a 11 bit ou 29 bit a 250 ou 500 kbaud
SAE J1939-11	Par de cabo entrançado com proteção a 250 kbps
SAE J1939-15	Par de cabo entrançado sem proteção a 250 kbps
SAE J2411	CAN bus através de cabo único.

3.2.3. Standard CAN (11 bit) e Extended CAN (29 bit)

A primeira versão do protocolo CAN, norma ISO 11519 (*low-speed CAN*), permite apenas comunicações até 125 kbps, usando o identificador padrão de 11 bits. A segunda versão, norma ISO 11898 de 1993, manteve os mesmos 11 bits, mas permite comunicações com débitos compreendidos entre os 125 kbps e 1 Mbps.

Uma atualização, em 1995, introduziu o modo estendido de 29 bits. A norma ISO 11898 de 11 bits é frequentemente citada como *standard CAN* versão 2.0A, enquanto a atualização para 29 bits é citada como *extended CAN* versão 2.0B. A figura 30 apresenta um exemplo de uma mensagem transmitida no modo *standard CAN* versão 2.0A [84].

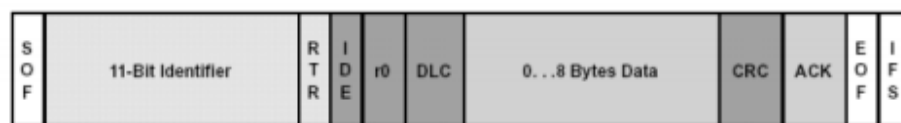


Figura 30 – Mensagem CAN da versão 2.0A (Standard CAN) [84].

A mensagem possui os seguintes campos com os seguintes significados:

SOF – *Start of frame* - É o bit dominante. Marca o início de uma mensagem e é usado para sincronizar todos os nós.

11-Bit Identifier – Identificador padrão de 11 bits. Estabelece a prioridade da mensagem. Quanto menor for o valor binário deste campo maior será a sua prioridade.

RTR – *Remote Transmission Request* - É dominante quando a informação é solicitada de outro ponto. Todos os nós recebem este pedido, mas o identificador determina o nó específico.

IDE – *Identifier Extension* - Bit identificador de extensão dominante. Significa que o identificador CAN *standard* sem extensão está a ser transmitido.

R0 – Bit reservado.

DLC – *Data Length Code* - Estes 4 bits informam sobre o tamanho de dados que está a ser transmitido (bytes).

DATA – Podem ser transmitidos até 64 bits de dados.

CRC – *Cyclic Redundancy Check* - Contém o *checksum* para deteção de erros. 16 bits (15 bits mais o delimitador).

ACK – *Acknowledgement* - Sempre que um nó recetor subscreve este bit recessivo, indica que a mensagem recebida veio sem erros.

EOF – *End-Of-Frame* - Fim da mensagem.

IFS – *Inter-Frame Space* - É composto por 7 bits que contêm o tempo necessário para o controlador adquirir corretamente os dados recebidos para um *buffer* de receção de mensagem.

Como foi referido anteriormente a atualização da rede CAN bus para a versão 2.0B permitiu a criação de um identificador de 29 bits (figura 31), sendo agora possível circular na rede cerca de 537 milhões de mensagens. No entanto, os 18 bits adicionais presentes no identificador em relação à rede CAN 2.0A aumentam o tempo de transmissão de cada mensagem, o que pode ser uma desvantagem em determinadas aplicações em tempo-real. A figura 31 apresenta a estrutura de uma mensagem de CAN versão 2.0B com os respetivos campos.

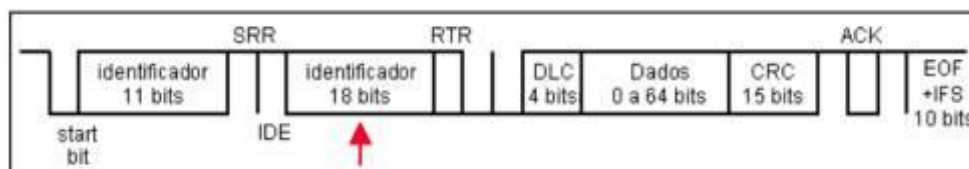


Figura 31 – Mensagem CAN da versão 2.0B [84].

O significado dos campos de bits adicionados e/ou alterados de forma à *CAN standard* passar a *CAN extended* é o seguinte:

SRR – *Substitute Remote Request* - Substitui o bit RTR do CAN 2.0A.

IDE – *Identifier Extension* - Um bit recessivo no IDE indica que há mais bits identificadores a seguir. Os 18 bits da extensão seguem o bit IDE.

R1 – Bit reservado

3.2.4. Prioridades das Mensagens CAN

O envio de mensagens nas redes CAN é baseado no protocolo CSMA/CD + NDA, ou seja, se dois nós tentarem transmitir simultaneamente, o acesso implementado será do tipo não destrutivo. Isto significa que um dos nós continua a enviar a sua mensagem para o barramento, enquanto o outro aguarda que o barramento esteja livre de novo para proceder à transmissão. A atribuição de prioridade fica guardada no identificador CAN. Este tipo de funcionamento é uma grande vantagem para sistemas de controlo em tempo-real.

Como foi anteriormente referido, quanto menor for o valor binário do identificador de uma mensagem, maior será a sua prioridade. Um identificador constituído apenas por zeros é o que tem maior prioridade na rede. Dito de outra forma, se dois nós (A e B) iniciarem simultaneamente uma transmissão e o nó A envia um 0 (dominante) enquanto o nó B envia um 1 (recessivo), o nó A fica com o barramento livre para transmitir a sua mensagem [85].

A figura 32 apresenta o processo de priorização de mensagens. Os nós verificam as suas próprias transmissões. Por exemplo, quando o nó recessivo B é sobrescrito pelo bit dominante de C, o nó B deteta que o estado do barramento está alterado e termina a transmissão enquanto o nó C continua a transmitir. Depois de C acabar de transmitir, a mensagem de B continua a ser enviada para o barramento. Este tipo de funcionamento faz parte da camada física do protocolo ISO 11898 [85].

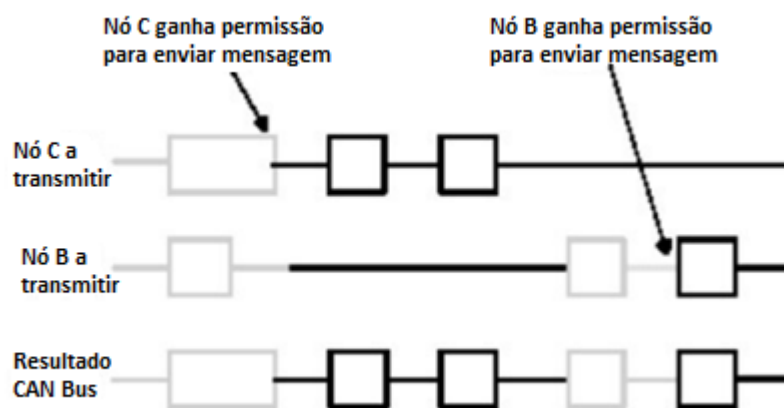


Figura 32 – Priorização de mensagens CAN [85].

Tipos de Mensagens:

Existem quatro tipos de mensagens diferentes, ou tramas, que podem ser transmitidas pelo barramento CAN: *data frame*, *remote frame*, *error frame* e o *overload frame*. Nenhum deles vai ser abordado neste projeto.

Uma mensagem é considerada livre de erros quando o último bit do campo EOF da mensagem for recebido em estado recessivo. Um bit dominante no campo EOF causa uma repetição da mensagem pelo transmissor [81].

3.2.5. Dicionário de dados

O dicionário de dados é o conjunto de mensagens que pode ser transmitida numa determinada rede. É uma das partes mais importantes na implementação de uma rede CAN.

Uma forma de criar um dicionário de dados é através de uma matriz com todos os módulos da rede e que relaciona cada mensagem com os módulos que a transmitem e a recebem. Nesta matriz também se deverá considerar o tempo de atualização dos valores das mensagens, o intervalo de transmissão e o valor relativo aos identificadores.

A implementação do dicionário de dados é feita por *software*, e para garantir total compatibilidade entre os módulos da rede, estes deverão ter a mesma versão de software [81, 85].

3.2.6. Exemplo de uma Rede CAN

Dependendo da aplicação para a qual é criada, uma rede CAN, poderá ter centenas de módulos, dependendo dessa quantidade da norma que se utiliza na implementação.

Todas as redes CAN têm, em cada extremidade da rede, duas resistências com valores compreendidos entre 100 Ω e 120 Ω , que garantem a boa propagação/reflexão dos sinais que circulam nos cabos e o correto funcionamento da rede.

Uma rede CAN pode estar dividida em sub-redes que funcionam a diferentes débitos. Nestes casos, os dados de uma sub-rede são transferidos para a outra através de módulos, chamados *gateways*, que interligam as duas sub-redes. Um exemplo disso é a rede CAN de um automóvel. Como se pode ver na figura 33, a rede de controlo de motor, ABS e caixa de velocidades funcionam a uma velocidade superior à rede que interliga os restantes módulos da carroçaria. Neste exemplo, o quadrante funciona como *gateway*.

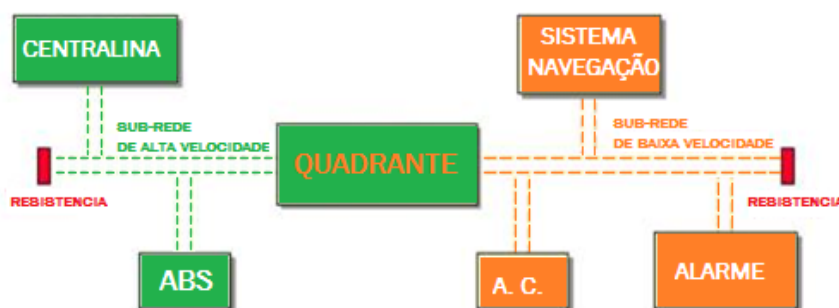


Figura 33 – Implementação de duas sub-redes num automóvel.

3.3. CAN Bus - Chevrolet Volt

A leitura das mensagens presentes na rede CAN do Chevrolet Volt foi efetuada por uma placa que foi desenvolvida tendo por base o ELM327, uma vez que este suporta pedidos por *Parameter Identification* (PID). Os PID atualmente existentes para veículos com motor de combustão interna funcionam no Chevrolet Volt e, como tal, a rede CAN suporta pedidos através de PID's dos componentes do sistema elétrico (motor, baterias, inversor, etc.).

O Chevrolet Volt disponibiliza imensos pedidos por PID. No entanto, no âmbito da implementação do sistema V2G e G2V, apresentam-se somente quatro pedidos principais (tabela 12). A corrente recebida/fornecida pelas baterias, que é adquirida através do PID 222414, a tensão do mesmo banco de baterias é obtida usando o PID 222429.

Os valores de tensão e corrente das baterias são utilizados para estimar a potência instantânea recebida/fornecida ao sistema elétrico de tração. Além disso, a velocidade do veículo é obtida através do PID 22000D. Esta informação também é utilizada para calcular o valor da energia consumida por unidade de comprimento kWh/km.

O valor do SOC é obtido mediante o PID 015B que monitoriza o nível de carga da bateria durante a viagem. Todos os dados recolhidos são posteriormente gravados em conjunto com a posição do veículo obtido pelo GPS, sendo estes posteriormente formatados e adequadamente escritos no cartão SD e/ou enviados para a base dados. Esta recolha de dados ocorre até ao final da viagem. A tabela 12 apresenta os PID suportados pelo Chevrolet Volt que foram utilizados no decurso do presente trabalho de projeto, e a sua função, limites e fórmula de conversão para a obtenção dos parâmetros pretendidos.

Tabela 12 – PID suportados pelo Chevrolet Volt.

PID suportados pelo Chevrolet Volt			
Parâmetro	PID	Fórmula	Limites dos valores
SoC (%)	015B	$A \cdot 100 / 255$	0 a 100 %
HV Amps (A)	222414	$(\text{Signed}(A) \cdot 256 + b) / 20$	-100 a 100 A
HV Volts (V)	222429	$(\text{Signed}(A) \cdot 256 + b) / 64$	0 a 400 V
Velocidade (km/h)	22000D	A	0 a 200 km/h

Como se trata de uma rede CAN é possível procurar os pacotes que circulam nesta rede identificados com um específico ID. A tabela 13 apresenta alguns exemplos de ID presentes na rede CAN bus do Chevrolet Volt.

Tabela 13 – ID suportados pelo Chevrolet Volt.

ID suportados pelo Chevrolet Volt		
ID	Bit que contém informação	Função
1EF	Bit 3 e 4	RPM do motor a combustão
206	Bit 1 e 2	SOC
3E3	Bit 4 e 5	Energia da bateria

No seguimento dos pedidos de PID, é possível, da mesma forma, criar pedidos na rede CAN. Por exemplo, o pedido da tensão e corrente do carregador é pedido da seguinte forma: envia-se o pedido para o ID: 7E4 com o seguinte conteúdo “8 03 AA 04 FE 00 00 00 00 “. O

pedido é respondido através da ID: 5EC com o seguinte conteúdo “8 FE 43 70 00 00 00 00 00” (depende da tensão e corrente do carregador no momento do pedido) sendo o número 8 o tamanho da mensagem (8 bytes) e o restante conteúdo dividido pelos 8 bytes. O byte 2 (0x43) corresponde em decimal a 67, sendo necessário multiplicar o valor por 0.2, o que resulta no valor da corrente de 13.4 A (corrente do carregador). O byte 3 (0x70) corresponde em decimal a 112, sendo necessário multiplicar esse valor por 2, o que resulta no valor 224 V correspondente à tensão do pack das baterias.

3.4. CAN Bus – Nissan Leaf

O Nissan Leaf, sendo um veículo totalmente elétrico, não necessita de cumprir as normas antipoluição. Neste contexto, os pedidos de PID implementados nos veículos a combustão interna não são suportados.

A leitura de valores presente no barramento CAN está limitada ao envio e receção de pedidos através de IDs. No entanto, para proceder à leitura do barramento CAN presente no Leaf é necessário escolher o tipo de informação pretendida, uma vez que possui três barramentos CAN distintos.

Se os valores que se pretendem obter forem, a título de exemplo, relativos ao estado do ar condicionado, à posição do volante, às luzes, ao sistema de travagem anti bloqueio (ABS) ou à gestão de *chassi*, a CAN bus que incorpora esses módulos está definida através do ISO 15765-4 no conector no SAE J2284 nos pinos 14 (CAN-L) e 6 (CAN-H) com uma velocidade de 500 kbps e 11 bit. No entanto, o Leaf possui mais dois barramentos CAN, um referente à navegação e outro referente aos componentes de tração elétrica.

O barramento CAN referente à navegação denomina-se de AV-CAN, sendo possível de aceder através dos pinos 3 (CAN-L) e 11 (CAN-H) com uma velocidade de 500 kbps e 11 bit. Este barramento CAN não irá ser abordado neste projeto.

O barramento CAN responsável pelos componentes de tração elétrica é chamado de EV-CAN, numa nova abordagem por parte da Nissan que inclui informação sobre o motor elétrico, as baterias, o inversor, o carregador, computador de bordo e alguma informação relativa à telemática.

O acesso à EV-CAN é efetuado através dos pinos 13 (CAN-L) e 12 (CAN-H) do conector OBD, sendo que esta possui uma velocidade de 500 kbps e mensagens com identificadores de 11 bits.

A EV-CAN transmite a informação sobre o desempenho do sistema elétrico através de 20 IDs diferentes. Nos ensaios de campo realizados foram utilizados 5 IDs, sendo estes os essenciais para a implementação do conceito V2G. Na tabela 14 são apresentados os ID's filtrados e enviados para a base de dados.

Tabela 14 – IDs filtrados do Nissan Leaf.

EV CAN		
ID	Conteúdo	Time Rate
1DB	Corrente e tensão da bateria	10 ms
1DC	Potência disponível pela bateria	10 ms
55B	Estado de carga (SOC)	100 ms
5B9	Número de barras de combustível e tempo em minutos necessários para carregar.	512 ms
5BC	Sinal de carga (ACS)	500 ms

A leitura dos valores é realizada com uma taxa de refrescamento específica para cada um dos IDs, sendo os valores obtidos enviados para a base de dados a cada 6 segundos.

O barramento CAN presente no Chevrolet Volt é codificado de uma forma proprietária. Os valores comunicados entre os diversos módulos necessitam de um fator de correção, sendo que a leitura destes é feita através da conjugação de determinados bits presentes no byte. A tabela 15 apresenta a formatação da informação pretendida.

Tabela 15 – Informação presente nos bits/bytes de cada ID.

ID	Byte	Bits	Total de Bits	Fator de Correção	INFO
1DB	0	7 a 0	11	1 LSB = 0.5 A	Corrente da Bateria
	1	7 a 5		Complemento de 2	
	2	7 a 0	10	1 LSB = 0.5 V	Tensão da Bateria
	3	7 a 6		Inteiro	
1DC	0	7 a 0	8	1 kW / bit Inteiro	Potência Disponível pela Bateria
55B	0	7 a 0	10	1 LSB = 0.1 %	SOC
	1	7 a 6		Inteiro	
5B9	0	7 a 3	5	Inteiro	Número de Barras de Combustível
	0	2 a 0	11	Complemento de 2	Tempo em minutos necessários para carregar
	1	7 a 0			
5BC	0	7 a 0	10	1 LSB = 0.08 kWh	Sinal de Carga
	1	7 a 6		SOH = (kWh / 281)*100 Inteiro	

A tabela 15 refere que alguns dos valores são codificados em complemento de 2. Isto ocorre devido ao facto do valor apresentado poder ser positivo ou negativo.

O complemento de 2 ou complemento para 2 é uma representação binária de números com sinal (+ ou -). Desta forma um número de N bits é definido como o complemento em relação a 2^N . Para calcular o complemento de dois de um número, subtrai-se esse número por 2^N , que em binário é representado por '1', seguido de N zeros.

O dígito mais significativo (MSB) é o que informa o sinal do número. Se este dígito for '0' o número é positivo, se o número for '1' é negativo. Os números são escritos da seguinte forma:

- Números positivos: são representados na sua forma binária direta, um bit de sinal 0 é colocado na frente do MSB, (bit 0) + o número em binário.

Exemplo: 0010 (+2), 0011 (+3), 0111 (+7).

- Números negativos: são representados na forma de complemento de 2, um bit de sinal '1' é colocado na frente do MSB, o valor binário é invertido e no fim é somado 1 em binário, ou seja o número binário 0100 invertendo obtêm-se 1011 e por fim soma-se 0001. Exemplo: $1011 + 0001 = 1100$

A vantagem do uso do complemento de 2 é existir apenas um zero e que as regras para soma e subtração são as mesmas. Como desvantagem, o fato de ser um código assimétrico, ou seja, o número de representações negativas é maior que o número de representações positivas. Por exemplo, com oito bits em complemento para 2 podemos representar os números decimais entre -128 e +127.

3.4.1. Tratamento de dados provenientes da EV-CAN

Os dados filtrados e recolhidos na EV-CAN no âmbito deste projeto, foram tratados em Matlab libertando assim recursos do microprocessador. No entanto, o tratamento de dados podem ser feito em tempo real no microprocessador, se necessário. O tratamento dos dados recolhidos é feita da seguinte forma:

ID: 1DB

Apresenta informação sobre o valor da corrente e da tensão recebida ou fornecida da bateria. Quando esta recebe energia, por exemplo, de uma travagem regenerativa, ou está a carregar, a corrente apresenta um valor positivo. Se a bateria fornece energia o valor da corrente apresenta um valor negativo. A tabela 16 apresenta um exemplo de leitura do ID: 1DB.

Tabela 16 – Exemplo de informação presente no ID 1DB.

ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
1DB	F8	20	B4	EB	14	0	0	9F

A informação da corrente encontra-se em 11 bits, localizada nos 8 bits do byte 0 e nos 3 bits do byte 1, e a informação da tensão em 10 bits, nos 8 bits do byte 2 e em 2 bits do byte 3.

Como a informação foi recolhida em formato hexadecimal, é necessário converter previamente o valor para binário de forma a seleccionar os bits pretendidos.

Neste exemplo obtivemos o valor hexadecimal “F820” para a corrente, que resulta no valor binário: “1111100000100000”. Retirando os bits mencionados anteriormente resulta “11111000001”. Como o valor apresentado se encontra codificado em complemento de 2, é necessário converter esse valor resultando num valor final decimal de -63, como enunciado na tabela 4. Ao valor apresentado é ainda aplicado um fator de correção de 1 LSB = 0.5 A, o que resulta num valor final de corrente igual a -31.5 A.

O valor da tensão, uma vez que se trata de um valor inteiro, apenas é necessário aplicar o fator de correção de 1 LSB = 0.5 V, ou seja do valor hexadecimal “B4EB” obtemos o valor binário “1011010011101011”. Retirando os bits necessários resulta em “1011010011”, convertendo para decimal obtemos o valor 723 que quando aplicado o fator de correção resulta em 361.5 V.

ID: 1DC

Apresenta informação sobre a potência que a bateria pode disponibilizar em cada instante. Apresenta um valor igual a 110 kW até aproximadamente uma autonomia de 11 km. Abaixo desta autonomia, é apresentado um valor de 51 kW e a velocidade é limitada a 51 km/h.

A tabela 17 apresenta um exemplo de leitura do ID: 1DC.

Tabela 17 – Exemplo de informação presente no ID 1DC.

ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
1DC	6E	11	8F	FD	5	2C	C6	2E

A informação encontra-se localizada nos 8 bits do byte 0. No exemplo da tabela 17, o byte 0 contém o valor hexadecimal 6E, que corresponde ao valor binário de “01101110” e ao valor decimal 110. Aplicando o fator de correção de 1 kW por bit obtém-se um valor de potência disponível igual a 110 kW.

ID: 55B

Apresenta o valor do estado de carga da bateria (SOC), o mesmo valor que é apresentado ao condutor no quadrante. A tabela 18 apresenta um exemplo de leitura do ID: 55B.

Tabela 18 – Exemplo de informação presente no ID 55B.

ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
55B	47	80	55	0	E0	40	13	36

O valor do SOC encontra-se representado em 10 bits, nos 8 bits do byte 0 e 2 bits do byte 1. Através da tabela 18 o byte 0 possui o valor hexadecimal de “47” e o byte 1 o valor “80”, obtendo-se um valor binário combinado de “0100011110000000”. Retirando os 10 bits necessários resulta em “0100011110”. Como o valor é inteiro, origina um valor decimal igual a 286. Como enunciado na tabela 4, ao valor apresentado é ainda aplicado um fator de correção de 1 LSB = 0.1 %, o que resulta num valor final de SOC igual a 28.6 %.

ID: 5B9

Informa o número de “barras” apresentadas no painel de instrumentos, como se se tratasse de um medidor do nível de combustível. Apresenta ainda o tempo em minutos necessário para realizar um carregamento de nível 1. A tabela 19 apresenta um exemplo de leitura do ID: 5B9.

Tabela 19 – Exemplo de informação presente no ID 5B9.

ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
5B9	1A	B2	64	56	29	E	80	--

A informação do número de barras encontra-se localizada em 5 bits do byte 0. No exemplo da tabela 19, o byte 0 contém o valor hexadecimal “1A”, que corresponde ao valor binário de “00011010”. Retirando os 5 bits necessários resulta “00011” e em decimal 3, o que representa 3 barras disponíveis no quadrante (total de 12 barras).

O tempo de carregamento encontra-se em 11 bits, localizados em 3 bits do byte 0 e 8 bits do byte 1. O byte 0 apresenta um valor de “1A” e o byte 1 um valor de “B2”, que representados em binário resulta em “0001101010110010”. Selecionando os 11 bits “01010110010” e convertendo em decimal, resulta em 690, ou seja 690 minutos (11h30 min) para uma carga total através de um carregador de nível 1.

ID: 5BC

Apresenta o sinal de carga que fornece dois valores diferentes consoante o fator de correção aplicado. Se aplicado o fator de correção $1 \text{ LSB} = 0.08 \text{ kWh}$, fornece os kWh ainda disponíveis na bateria. Para se obter o valor de SOH (%), divide-se o valor da energia por 281 e multiplica-se o resultado por 100, apresentando assim o estado de saúde das baterias em percentagem. A tabela 20 apresenta um exemplo de leitura do ID: 5BC.

Tabela 20 – Exemplo de informação presente no ID 5BC.

ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
5BC	0D	C0	3C	64	BC	01	64	56

O valor do SOH encontra-se representado em 10 bits, nos 8 bits do byte 0 e 2 bits do byte 1. Através da tabela 20 verifica-se que, para o exemplo apresentado, o byte 0 possui o valor hexadecimal de “0D” e o byte 1 o valor “C0”, o que resulta num valor binário combinado de “0000110111000000”. Retirando os 10 bits necessários obtém-se “0000110111”. Como o valor é inteiro, origina um valor decimal de 55.

Se aplicarmos o fator de correção de forma a alcançarmos o valor em kWh, resulta em 4.4 kWh. Caso o valor a obter seja o estado de saúde da bateria (SOH), aplicando o fator de correção, obtém-se um valor de SOH igual a 19.57 %.

3.5. Norma ISO 15118

A norma ISO 15118 especifica a comunicação entre o BMS das baterias dos VE ou PHEV, com o carregador, embora possa ser aplicada a outros veículos.

A comunicação é realizada através de um controlador presente no veículo designado por *Electric Vehicle Communication Controller* (EVCC) e um controlador de comunicação presente no carregador o *Supply Equipment Communication Controller* (SECC).

A norma ISO 15118 conta atualmente com três versões [86]:

- A norma ISO 15118-1:2013 especifica termos e definições, requisitos gerais e casos de uso como base para as outras partes do ISO 15118. Este fornece uma visão geral e compreensão do processo de carga, o pagamento, gestão de carga e carregamento bidirecional.

- A norma ISO 15118-2:2014 foi criada com o intuito de definir a comunicação entre o VE / PHEV com o carregador, designadamente com a camada da mensagem que permite ao VE / PHEV ser identificado numa ligação IP quando ocorre a ligação entre o EVCC e o SECC. A norma define a mensagem em formato (XML / EXI) e o modo como é apresentada. A mensagem suporta os protocolos *Vehicle to Grid Transfer Protocol* (V2GTP), *Transport Layer Security* (TLS), TCP e IPv6 e o modo como a terceira camada definida pelo ISO 15118-3 acede a esta.
- A norma ISO 15118-3:2015 define a camada de dados e a camada física de comunicações de alto nível, criando a ligação física por cabo, entre o VE / PHEV e o EVSE, assim como toda a informação que transita entre os dois intervenientes.

3.6. GSM/GPRS

A evolução das telecomunicações celulares permitiu o desenvolvimento de vários sistemas com especificações distintas. Por este motivo surgiram diversos problemas, sendo o maior a compatibilidade entre sistemas, especialmente os desenvolvidos através da tecnologia de rádio digital. De forma a colmatar estes problemas foi criado o padrão Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM)

De 1982 a 1985 realizaram-se diversos testes de campo de forma a comparar o sistema analógico ao sistema digital. Como resultados destes testes optou-se pelo sistema digital GSM. A próxima tarefa era decidir entre uma solução de banda larga ou estreita. Em maio 1987, foi escolhida a banda estreita através do conceito *Time Division Multiple Access* (TDMA). Na tabela 21 é apresentado os principais marcos históricos do GSM.

Tabela 21 – Histórico GSM.

Ano	Feito
1982	Início do GSM
1986	Testes de campo
1987	Escolha por TDMA
1988	Estabelecimento das normas
1989	Validação do sistema GSM
1990	Início do sistema
1991	Início a nível comercial
1992	Cobertura de cidades e aeroportos
1993	Cobertura de estradas principais
1994	Cobertura de zonas rurais

As especificações do GSM definem as funções e os requisitos da interface. A rede GSM é dividida em três principais sistemas: *Switching System* (SS), *Base Station System* (BSS) e *Operation and Support System* (OSS).

Switching System – é responsável por executar o processamento de chamada e funções relacionadas com assinante. O SS inclui as seguintes funções: *Home Location Register* (HLR), *Mobile Services Switching Center* (MSC), *Visitor Location Register* (VLR), *Authentication Center* (AUC) e *Equipment Identity Register* (EIR)

Base Station System – todas as funções relacionadas com o estabelecimento de uma ligação rádio são executadas na BSS, estando esta dividida em *Base Station Controllers* (BSCs) e *Base Transceiver Stations* (BTSs).

Operation and Support System – o objetivo do OSS é oferecer ao cliente suporte econômico, centralizado e as atividades de manutenção que são necessárias para uma rede GSM.

Desde o início, o GSM estava planeado para ser compatível com o *Integrated Services Digital Network* (ISDN) em termos de oferta de serviços e controlo da sinalização. No entanto, limitações de transmissão como a largura de banda de rádio e o custo, não permitiam que a taxa de bits padrão do canal ISDN B de 64 kbps possa ser alcançado

O GSM oferece uma variedade de serviços de dados, sendo possível enviar e receber dados, a uma taxa até 9.6 kbps, aos utilizadores que usam *Plain Old Telephone Service* (POTS), ISDN, *Packet Switched Public Data Network* (PSPDN) e *Circuit Switched Public Data Networks* (CSPDN) através de uma variedade de métodos de acesso e protocolos, como o X.25 ou X.32.

O sistema GSM 900 utiliza dois conjuntos de frequências na banda dos 900 MHz: o primeiro nos 890-915 MHz, utilizado para as transmissões no percurso ascendente, e o segundo nos 935-960 MHz, para as transmissões no percurso descendente. O sistema utiliza uma combinação de duas tecnologias para gerir as frequências: o *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) e o *Time Division Multiple Access* (TDMA). O FDMA divide os 25 MHz disponíveis em 124 sub-bandas de 200 kHz, tornando possível uma capacidade de transmissão de dados na ordem dos 9.6 kbps. O TDMA utiliza cada sub-banda de 200 kHz, dividindo-a em oito intervalos de tempo (*timeslots*), utilizando um *timeslot* para receção e outro para emissão para permitir o uso do mesmo equipamento para transmitir e receber ao mesmo tempo como no modo *full-duplex*.

Caso seja necessário utilizar o método *full-duplex*, é utilizado o *Time Division Duplex* (TDD), sendo que o terminal atrasa o envio das tramas três intervalos de tempo depois da chegada, criando como vantagens técnicas:

- Não necessitar de um andar *duplex* por cada portadora apenas um sintonizador de comutação rápida, filtros e um comutador rápido para a antena;
- Aumento da duração das baterias.

De forma a aumentar as taxas de transferência de dados foram introduzidos dois equipamentos na arquitetura GSM:

Serving GPRS Support Node (SGSN) – Tem como função o encaminhamento e transferência de pacotes entre a *Mobile Station* (MS) e o GGSN, a gestão da mobilidade do terminal e da ligação lógica e por fim é responsável pela autenticação e taxaço.

Gateway GPRS Support Node (GGSN) – É uma interface entre a rede GPRS e a rede de pacotes externa (ex. *Internet Protocol*). Este recebe pacotes do SGSN, convertidos em formato *Packet Data Protocol* (PDP) da rede externa (ex. endereços IP).

Desta forma é criada a arquitetura *General Packet Radio System* (GPRS), que apresenta as seguintes vantagens:

- Acesso imediato e permanente para os dados. Com a arquitetura GSM são necessários cerca de 15 a 30 segundos para estabelecer a ligação, sendo que esse tempo é consumido a cada religação. Com o GPRS, uma vez estabelecida a ligação, esta fica permanentemente ativa;
- Aumento significativo na velocidade de transmissão de dados, varia dos 40 kbps até 171 kbps;
- Utilização de protocolos X.25 e IP.

3.7. Redes Celulares 3G/4G

As especificações do sistema de terceira geração (3G) de comunicações, foram concebidas pelo *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), que engloba um conjunto de várias organizações com o intuito de definir um sistema celular global de terceira geração designada por *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS).

Até ao ano de 2000, o desenvolvimento de padrões para o GSM e seus sucessores foi conduzido pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). A partir desta data a responsabilidade do desenvolvimento e normalização transitou para o 3GPP.

As redes 3G permitem comunicações móveis de longo alcance e evoluíram para incorporar redes de acesso à internet de alta velocidade e videochamada. A característica mais importante da tecnologia móvel 3G é suportar um número maior de clientes de voz e dados, especialmente em áreas urbanas, com maiores taxas de transmissão de dados a um custo incremental menor que nos sistemas de 2ª geração.

A evolução das redes e a cada vez maior necessidade de ligações rápidas à internet, foi criado o *Long Term Evolution* (LTE) com o intuito de definir um sistema de 4ª geração. O LTE encontra-se em fase de adaptação por parte dos operadores que utilizam tecnologias GSM como 3G / W-CDMA e HSPA e pelos operadores de CDMA. Esta nova tecnologia de rádio permite velocidades de 150 Mbps de *downlink* e 50 Mbps de *uplink*, visto que incorpora a tecnologia de acesso múltiplo ou *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), em combinação com uma multiplexagem *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) no *downlink* e *Single Carrier FDMA* no *uplink* de forma a obter uma utilização eficiente do espectro.

3.8. Protocolo IEEE 802.11

A norma IEEE 802.11, mais conhecidas como *Wi-Fi*, são redes de curto alcance e foram originalmente desenvolvidas para redes de dados [87].

Esta tecnologia de comunicação apresenta como principais objetivos [88]:

- Prestar os mesmos serviços que se encontram nas redes com cabo;
- Débitos elevados;
- Alta confiabilidade;
- Comunicação sem interrupções.

Esta norma foi popularizada pela *Wi-Fi Alliance* [89], uma associação que promove o desenvolvimento da tecnologia associada a redes *Wireless Local Area Network* (WLAN) e certifica produtos que estejam em conformidade com os padrões IEEE 802.11., uma vez que nem todos os dispositivos submetidos à norma IEEE 802.11 são compatíveis. No entanto, a falta do logótipo *Wi-Fi* não implica necessariamente que o dispositivo é incompatível com outros dispositivos *Wi-Fi*.

A norma IEEE 802.11 tem evoluído desde a sua criação para aumentar a velocidade, a segurança e a *Quality of Service* (QoS). A primeira versão foi lançada em 1997. Vários grupos de trabalho começaram a desenvolver novas variantes, identificadas por letras, com o intuito de seguir e melhorar a base da norma. Em setembro de 2007 foi lançada uma nova versão, incluindo as alterações a, b, d, e, g, h, i e j. Em 2012, foram lançadas 10 novas variantes [84]. Dentro da norma IEEE 802.11, existem três faixas de frequência permitidas, sendo as mais utilizadas a banda *Industrial, Scientific and Medical* (ISM) nos 2.4 GHz e o *Unlicensed National Information Infrastructure* (U-NII) que opera nos 5 GHz. A terceira banda de frequência (utilizada pela norma IEEE 802.11y) só está disponível nos Estados Unidos da América e opera numa frequência que varia entre os 3.65 GHz e os 3.70 GHz.

Para este projeto serão abordadas as variantes 802.11 b / g / n utilizadas no desenvolvimento deste projeto, e a norma 802.11p tendo em conta que esta foi desenvolvida para ambiente veicular. As características técnicas das variantes analisadas são apresentadas na tabela 22.

Tabela 22 – Especificações IEEE 802.11.

IEEE 802.11			
Norma	Frequência de Trabalho	Largura de Banda	Máxima taxa de transmissão
802.11b	2.4 GHz	20 MHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	20 MHz	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	20 MHz, 40 MHz	600 Mbps
802.11p	5.9 GHz	10 MHz, 20 MHz	27 Mbps, 54 Mbps

3.8.1. Normas IEEE 802.11 b/g/n

802.11b – alcança uma taxa de transmissão de 11 Mbps padronizada pelo IEEE e uma velocidade de 22 Mbps oferecida por alguns fabricantes.

Tem como vantagens suportar até 32 utilizadores por ponto de acesso e o preço baixo dos dispositivos e como desvantagem a interferência tanto na transmissão como na receção de sinais, que sofre de outros equipamentos, como sejam, os fornos micro-ondas e dispositivos Bluetooth.

802.11g – é semelhante ao 802.11b em termos de vantagens e desvantagens, apenas acrescenta um aumento de velocidade para os 54 Mbps e oferece uma maior segurança através da autenticação *Wired Equivalent Privacy* WEP, que aceita autenticação *Wireless Protect Access* (WPA) com criptográfica através do método *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP) e *Advanced Encryption Standard* (AES).

802.11n – define um novo limite de velocidades, de 65 Mbps a 450 Mbps, introduzindo a largura de banda de 5 GHz, sendo no entanto possível aceder a esta norma nas bandas dos 2.4 GHz. As velocidades referidas anteriormente são atingidas através do método de transmissão MIMO-OFDM.

As bandas ISM e U-NII dividem-se em canais, sendo que a banda ISM contém 14 canais com separação de 5 MHz, mas a disponibilidade de canais depende da autoridade regulamentadora. Na Europa, estão geralmente disponíveis os canais 1 a 13, mas nos EUA apenas são permitidos os canais 1 a 11. Para a banda U-NII 5GHz, estão disponíveis 19 canais para a Europa e 20 canais para os Estados Unidos. Todos os canais na banda U-NII tem uma separação de 22 MHz, resultando numa não sobreposição de canais em oposição à verificada na banda ISM, em que os canais se sobrepõem como é demonstrado na figura 34.

Como resultado, apenas um pequeno conjunto de canais disponíveis na banda ISM podem ser utilizados simultaneamente para evitar a sobreposição. Por razões de segurança impõe-se o uso de seleção dinâmica de frequência *Dynamic Frequency Selection* (DFS) na banda U-NII, uma vez que alguns canais utilizam a mesma faixa de frequência que outros dispositivos. Com este método, não é permitido ao utilizador final fixar o canal de comunicação, sendo o sistema a escolher automaticamente o melhor.

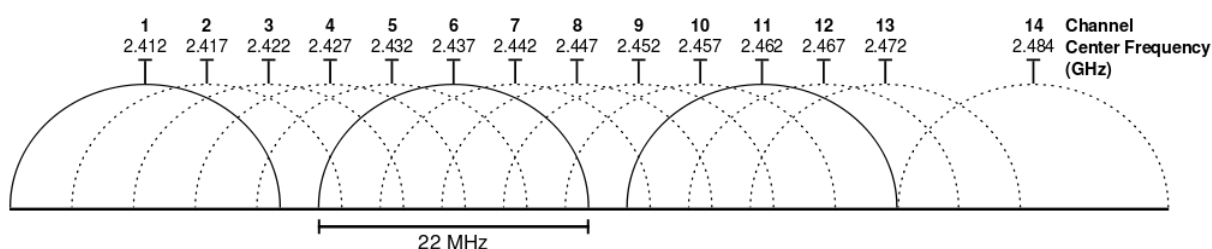


Figura 34 – Canais de um sistema IEEE 802.11 na banda dos 2.4GHz.

3.8.2. Norma IEEE 802.11 p

O sistema IEEE 802.11p foi aprovado no *standard* IEEE 802.11, para efetuar comunicação entre veículos, e veículos e as infraestruturas presentes na estrada (exemplificado na figura 35). Esta norma acrescenta a comunicação em ambiente automóvel *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE) que além de cumprir as normas impostas numa comunicação Wi-Fi, incorpora o suporte para aplicações no âmbito do *Intelligent Transportation Systems* (ITS). Como tal é utilizada a banda de frequência dos 5.9 GHz

(5.85 GHz a 5.925 GHz), com largura de banda de 10 MHz ou 20 MHz, que oferece melhores características em ambiente veicular, tendo em conta as reflexões de sinais noutros veículos ou edifícios localizados no cenário.

A norma IEEE 802.11p, recorre ainda na camada mais alta a norma IEEE 1609 [89], esta norma define como referido anteriormente a comunicação entre veículos ou, veículos e infraestruturas. Esta comunicação ocorre através de uma ligação que dura um curto espaço de tempo. De modo a cumprir o tempo de ligação, a norma não necessita dos serviços mínimos como o *Basic Service Set* (BSS) e associação e / ou autenticação presentes em outras normas.

A comunicação apenas recorre ao *Basic Service Set Identification* (BSSID), através de um wild-card, composto apenas por “1”, presentes no cabeçalho do pacote, iniciando assim a troca de informação.

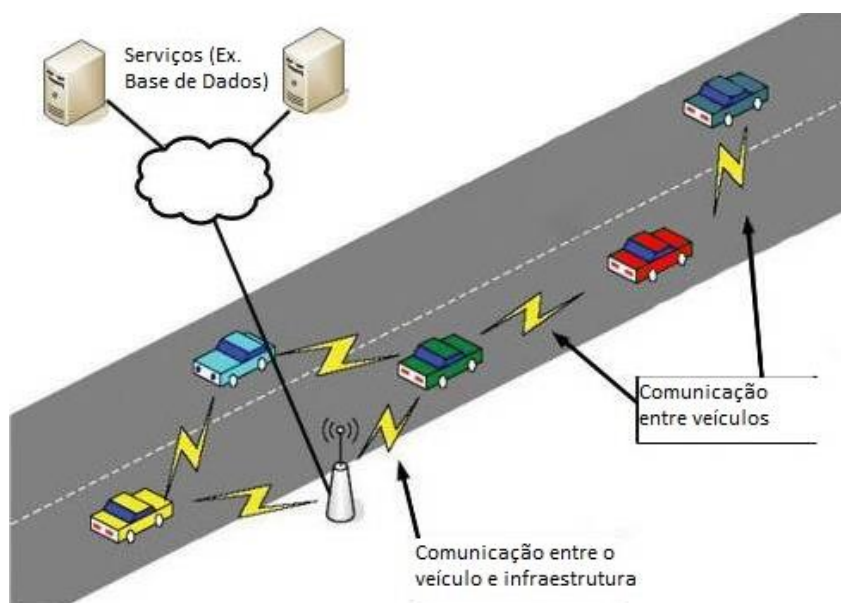


Figura 35 – Implementação da norma IEEE 802.11p [89].

Este tipo de ligação apresenta como desvantagem, a falta de segurança, visto não existir associação ou autenticação com a base de receção. Desta forma a segurança apenas pode ser colocada numa camada superior.

Esta norma afeta ainda a informação presente no pacote de dados referente ao tempo / relógio. A norma define que as estações necessitam de estar sincronizadas através do relógio *Coordinated Universal Time* (UTC). Atualmente a norma é aplicada nos autocarros do Porto, de forma a fornecer uma ligação *wireless* aos passageiros.

Caso a norma 802.11p seja aplicada em veículos elétricos, esta pode estabelecer a comunicação com a base de dados de forma implementar o conceito V2G.

3.8.3. IEEE 802.16

O padrão IEEE 802.16 ou mais conhecido como *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) foi criado por um grupo de indústrias em Outubro de 2001 e publicado em 8 de abril de 2002 com o objetivo de promover a compatibilidade e interoperabilidade entre equipamentos baseados no padrão IEEE 802.16 [90].

O WiMAX é muito semelhante ao padrão IEEE 802.11, no entanto este visa um melhor desempenho de comunicação e permite velocidade a débitos superiores além dos 1 Gbps [91]. Na figura 36 é apresentado um exemplo da comunicação WiMAX

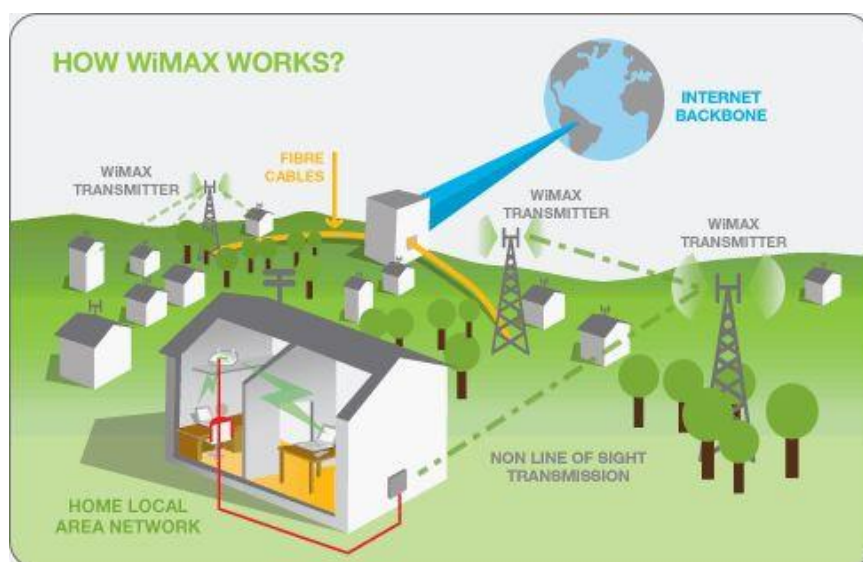


Figura 36 – Implementação da norma IEEE 802.16 (WiMAX) [79].

A maior desvantagem do sistema WiMAX é o facto de não oferecer um desempenho linear durante a sua transmissão dentro de um canal de rádio. Em vez de o desempenho de transmissão ser uma linha reta, o desempenho varia bastante de acordo com a posição do sinal dentro do canal. A solução proposta pela Intel para este problema chama-se modulação adaptativa.

Esta solução permite que em vez de o sinal usar um único tipo de modulação para a sua transmissão, como é o normal, a transmissão passa a usar vários tipos de modulação, dependendo da posição do sinal dentro do canal. Desta forma, nos pontos em que um determinado tipo de modulação apresentar baixo desempenho, o sistema passa a usar, naquela

porção do canal, um outro tipo de modulação, que ofereça melhor desempenho. As áreas que oferecem menor desempenho usam um tipo de modulação diferente do resto do sinal. Com esta técnica é possível duplicar a taxa de transferência da transmissão.

3.8.4. IEEE 802.15.1

A norma IEEE 802.15.1 mais conhecida como Bluetooth é uma tecnologia sem fios a qual foi desenvolvida com o intuito de transmitir dados a curta distância através da banda ISM. Esta tecnologia foi desenvolvida pela Ericsson em 1994, com o intuito de transformar a comunicação feita por RS-232 numa comunicação sem fios [92]. O sistema foi desenvolvido na banda de frequências sem licença ISM, operando no espectro entre os 2400 e os 2483.5 MHz, incluindo uma reserva de frequência de 2 MHz no extremo inferior e 3.5 MHz no extremo superior. A comunicação é implementada através da técnica de modulação *Frequency Hopping Code Division Multiple Access* (FH-CDMA), esta técnica permite que a transmissão de sinais possa alternar entre os 79 canais (largura de banda de 1 MHz) ou 40 canais (largura de banda de 2 MHz na versão 4.0), de forma a evitar interferências [93].

As ligações entre dispositivos Bluetooth seguem o conceito mestre-escravo (*master-slave*), sendo que o mestre pode comunicar até sete escravos criando uma piconet, como exemplificado na figura 37. Os módulos Bluetooth podem alternar o seu conceito de funcionamento entre o mestre e o escravo.

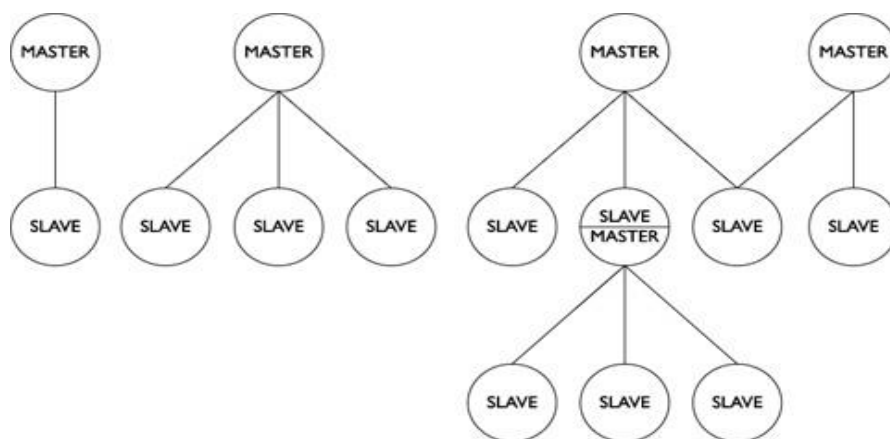


Figura 37 – Exemplo de ligação entre módulos Bluetooth [94].

A área de cobertura de uma rede *piconet* está diretamente relacionada à classe dos dispositivos em uso. O Bluetooth define 3 classes de potência de saída máxima, como demonstrado na tabela 23. O alcance efetivo do sistema é variável devido às condições de propagação, em redor do cenário, aos diferentes tipos de *hardware*, configurações da antena e às condições de alimentação.

Tabela 23 – Especificações IEEE 802.15.1.

IEEE 802.15.1			
Classe	Potência Máxima (mW)	Potência (dBm)	Alcance (m)
1	100	20	100
2	2.5	4	10
3	1	0	5

O módulo mestre pode escolher qual o módulo escravo a que se conecta, podendo se necessário alternar a conexão para outro módulo escravo, no entanto o escravo por norma não se conecta a mais de um mestre.

A ligação entre um mestre e um escravo pode ocorrer através do conceito *Synchronous Connection Oriented Link* (SCO) e *Asynchronous Connection-Less* (ACL).

O conceito SCO estabelece um *link* sincronizado entre os dispositivos, que permite a reserva de *slots* para cada módulo.

Após os *slots* se encontrarem livres é trocado um pacote de dados que contém uma *link key* e caso ambos os módulos possuam a mesma *link key* estes são considerados emparelhados. De seguida, é feita uma autenticação permitindo a encriptação dos dados, o reenvio de pacotes de dados perdidos e a garantia de integridade dos dados trocados entre os dispositivos [95].

A tecnologia Bluetooth está em constante evolução, seja em termos de *software* como de *hardware*, sendo a versão mais atual a v4.2.

3.9. Sumário e Conclusões

Em conclusão, embora a rede CAN não tenha evoluído ao longo do tempo, a sua implementação que cada vez é maior, permitindo um controlo mais dinâmico e a criação de sistemas mais simples e eficientes. A sua implementação nos veículos elétricos permite ter acesso a toda a informação relativa ao sistema elétrico e ao motor de combustão no caso dos PHEV.

No entanto, a descodificação da informação presente no veículo ainda apresenta um grande desafio. Esta não é disponibilizada pela marca, sendo necessário interpretar os ID presentes individualmente de forma a descodificar a mensagem.

As comunicações sem fios desempenham um papel importante no conceito V2G, visto este ser um dos meios com que o veículo comunica com o operador de rede elétrica. A comunicação GSM / GPRS / 3G / 4G é vital em situações que a rede *wireless* ou outro meio de comunicação não está disponível. A comunicação *wireless* através das normas mais usadas

atualmente, como a / b / g / n, é utilizada no conceito V2G uma vez que a norma criada para meio veicular, a norma p, ainda se encontra em fase de implementação. As comunicações sem fios são o preferível para a comunicação com o veículo, permitindo a ligação a redes locais e dispositivos sem a necessidade de utilizar qualquer ligação física entre os mesmos. O Bluetooth terá como principal função permitir o acesso aos dados disponibilizados pelo módulo CAN, sejam estes os necessários para a implementação do V2G ou para o diagnóstico do veículo.

4. DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA

4.1. Introdução

No decurso do projeto foi desenvolvida uma solução tecnológica, que compreende um módulo eletrónico e um sistema de informação de suporte à implementação da solução V2G. A solução tecnológica apresentada encontra-se dividida em duas secções, *hardware* e *software*. A secção do *hardware* descreve os componentes escolhidos e a sua interligação, a secção *software* apresenta as ferramentas e programas desenvolvidos uma vez que estes cumprem os requisitos enunciados anteriormente para o sistema.

A seleção dos componentes teve vários fatores em conta, designadamente o seu custo, a sua fiabilidade e a compatibilidade entre eles. No entanto, o ponto fulcral na solução que se pretende desenvolver recaiu na seleção do microcontrolador que será responsável pela monitorização da rede CAN e pelo registo dessa informação numa base de dados.

4.2. Microcontroladores

Atualmente, encontram-se disponíveis comercialmente diversas ofertas de plataformas de desenvolvimento livre. No entanto, no âmbito do projeto, a escolha recaiu sobre o Arduino nas versões UNO e DUE, uma vez que possuem a capacidade de processamento necessária para executar as tarefas que se pretendem implementar.

O Arduino foi criado em 2005, por Massimo Banzi e David Cuartielles, em Itália, com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controlo de sistemas interativos, de baixo custo e acessível a todos [96]. A plataforma, permite a integração de um vasto conjunto de sensores, nomeadamente: de movimento, de pressão, de temperatura, de gases, de ultrassons, etc. Devido ao seu *design*, é possível acoplar uma *shield* de forma a incorporar mais funções, como por ex. Ethernet. Como o Arduino é composto por entradas e saídas, estas permitem, por exemplo, controlar luzes, relés, motores, etc.

Uma característica importante que levou à escolha do Arduino, foi o facto de ser uma plataforma *open-source*, permitindo criar uma solução económica e com expansão para a implementação das funções necessárias para este projeto.

4.2.1. Arduino UNO

O Arduino UNO, representado na figura 38, é uma placa de desenvolvimento, composta por um microcontrolador Atmega328, com suporte a entradas/saídas analógicas e digitais, sendo programado pelo Arduino IDE.



Figura 38 – Arduino UNO.

O Arduino UNO contém: 14 entradas / saídas digitais (das quais 6 podem ser usadas como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um oscilador baseado num ressonador cerâmico de 16 MHz, uma porta USB, um *power jack*, um conector *In Circuit Serial Programming* (ICSP) e um botão de Reset. A comunicação realizada entre o Arduino e um computador é feita através da porta USB, estando a cargo do conversor Atmega16U2, que converte USB em comunicação série. No entanto, como a placa utilizada na realização deste projeto é a versão 3, o Atmega 16U2 original foi substituído pelo Atmega 8U2, tendo também sido adicionados dois pinos com a função SDA e SCL, e o circuito de *reset* revisto [96]. A tabela 24 apresenta as principais características do Arduino UNO.

Tabela 24 – Características Arduino UNO.

Características principais Arduino UNO [96]	
Micro controlador	ATmega328
Tensão de operação	5 V
Tensão de entrada (recomendada)	7 a 12 V
Tensão de entrada (limites)	6-20 V
Pinos de entrada e saída (I/O)	14 Digitais (das quais 6 suportam PWM)
Pinos de entradas analógicas	6
Corrente DC total pinos I/O	40 mA
Corrente DC para pino de 3,3 V	50 mA
Velocidade de Relógio	16 MHz
EEPROM	1 kB
SRAM	2 kB

4.2.2. Arduino DUE

O Arduino DUE, representado na figura 39, é uma plataforma eletrônica de *hardware* livre, composta por um microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3, com suporte a entradas / saídas embutidas, sendo programado pelo Arduino IDE.

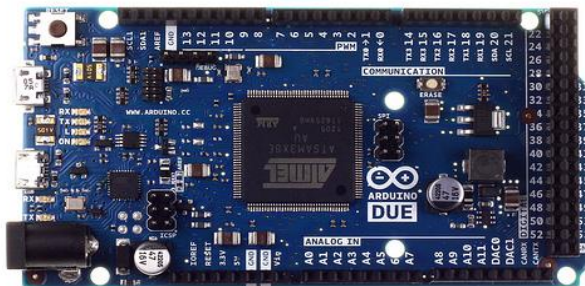


Figura 39 – Arduino DUE.

A escolha do Arduino DUE deveu-se sobretudo ao facto deste possuir um *Central Processing Unit* (CPU) com um poder de processamento superior ao Arduino UNO, tornando a recolha dos dados mais rápida e dinâmica, assim como à sua capacidade para funcionar com os módulos a ele conectado. O suporte nativo para dois barramentos CAN foi outro fator que levou à escolha deste microprocessador [96].

Na tabela 25 encontram-se descritas as características principais do Arduino DUE.

Tabela 25 – Características Arduino DUE.

Características principais Arduino DUE [96]	
Micro controlador	AT91SAM3X8E
Tensão de operação	3.3 V
Tensão de entrada (recomendada)	7 a 12 V
Tensão de entrada (limites)	6-16 V
Pinos de entrada e saída (I/O)	54 Digitais (das quais 12 suportam PWM)
Pinos de entradas analógicas	12
Pinos de saída analógicas	2 (DAC)
Corrente DC total pinos I/O	130 mA
Corrente DC para pino de 5 V	800 mA
Corrente DC para pino de 3,3 V	800 mA
Memória Flash	512 kB
Velocidade de Relógio	84 MHz
SRAM	96 kB (banco de 64 kB e 32 kB)

Além das especificações mencionadas, o Arduino DUE possui: 4 portas *Hardware Serial Ports* (UART), porta USB com capacidade OTG, duas *Two-Wire Interface* (TWI), conector de alimentação, ligação *Serial Peripheral Interface* (SPI), ligação JTAG, ligação CAN, botão de *reset* e botão para limpar o programa atual.

4.2.3. Software Arduino

A programação do Arduino é realizada através da linguagem C / C++ baseada em *wiring*. No entanto, é necessário utilizar um compilador específico para o efeito (figura 40). O código é compilado através do *software Integrated Development Environment* (IDE), que possui um compilador desenvolvido em Java, baseado no projeto *Processing*.

O código, após ser compilado pelo IDE, é de seguida enviado para o microprocessador. O IDE permite ainda enviar e receber informação do microcontrolador, sendo que a velocidade de transmissão de dados está compreendida entre os 300 baud/s e os 250k baud/s.

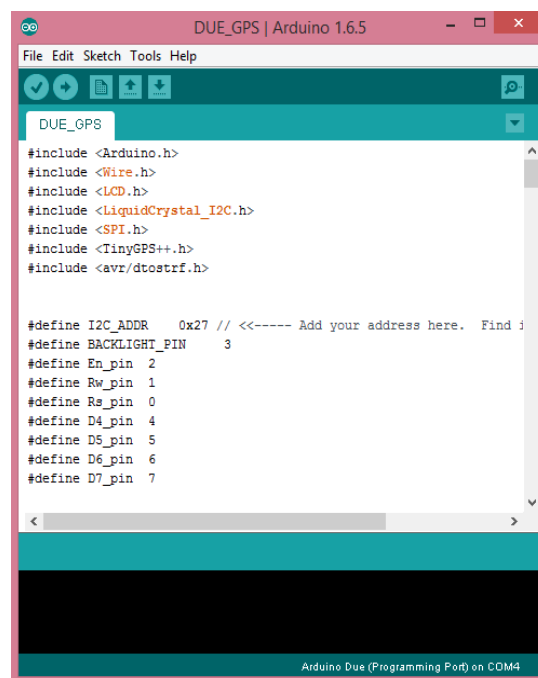


Figura 40 – IDE do Arduino.

Em complemento ao código desenvolvido, podem ser adicionadas bibliotecas que permitem realizar tarefas específicas e implementar o suporte aos vários dispositivos que podem ser conectados ao Arduino.

4.3. Microprocessadores

Os microprocessadores com capacidade de processamento compatíveis com um sistema operativo são relativamente recentes. A seleção do *hardware* a usar no projeto foi realizada de acordo com as necessidades e requisitos da solução que se pretende desenvolver. A escolha recaiu no Raspberry Pi 2 tendo em conta que este já providencia as funcionalidades necessárias à implementação deste projeto e pelo fato de ser *open-source*.

4.3.1. Raspberry Pi 2

O Raspberry Pi 2, representado na figura 41, é um computador de tamanho reduzido, contruído com o intuito de promover o ensino da ciência da computação ao nível escolar. A versão utilizada no desenvolvimento deste projeto é a evolução do Raspberry Pi 1 B+.



Figura 41 – Raspberry Pi 2.

O Raspberry Pi 2 possui um CPU *quad-core* a funcionar a 900 MHz e 1 GB de memória SRAM a qual é partilhada com a *Graphics Processing Unit* (GPU). A versão Raspberry Pi 1 B+ possui um CPU *single-core* a funcionar a 700 MHz e dispõe de 512 Mb de memória. Na tabela 26 encontram-se as principais características de ambos os modelos.

Tabela 26 – Características do Raspberry Pi 1 e 2.

Características principais Raspberry Pi 1 e 2 [97,98]		
Raspberry Pi	Raspberry Pi 1 B+	Raspberry Pi 2
SoC	BCM2835	BCM2836
Velocidade CPU	700 MHz (Single-Core)	900 MHz (Quad-Core)
GPU	Open GL ES 2.0, OpenVG e 1080p30 H.264 high-profile decode	
Memória (SRAM)	512 Mb	1 GB
Portas USB 2.0	4 Portas	
Saídas de Vídeo	HDMI, RCA Composto (PAL & NTSC) e LCD via DSI.	
Saídas Áudio	Conector de 3.5 mm, HDMI	
Armazenamento	MicroSD	
Ethernet	10/100 BaseT Ethernet (RJ45)	
Periféricos de baixo nível	GPIO, UART, I ² C e SPI	
Corrente e Tensão	600 mA a 1.8 A @ 5 V	600 mA a 2 A @ 5 V
Tamanho	85 x 56 x 17mm	

4.3.2. Software Raspberry Pi 2

O processador presente no Raspberry Pi permite correr diversos sistemas operativos, todos com base no sistema Linux. No entanto, encontra-se em fase de desenvolvimento uma versão do Windows 10 específica para o Raspberry Pi 2.

A escolha para o sistema operativo a usar no projeto recaiu sobre o *Raspbian*, um SO baseado em *Linux (Debian)* e otimizado para o *hardware* presente no Raspberry Pi. O seu nome advém do facto de ser desenvolvido especificamente para o Raspberry Pi, dando origem ao seu nome a conjugação destes dois fatores, *Raspberry* com *Debian*, resultando em *Raspbian*.

O sistema operativo foi descarregado através da página oficial do *Raspbia*, gravado num cartão microSD e inserido no Raspberry Pi de forma a este efetuar o arranque (*boot*) através deste. Quando em funcionamento, o *Raspbian* conta com 35000 pacotes instalados e *software* pré-compilado. Desta forma, é possível criar uma máquina baseada em *Linux* com um baixo custo e consumo, fornecendo todas as funções necessárias para a implementação deste projeto.

4.4. Periféricos

Os periféricos utilizados acrescentam funcionalidades aos microcontroladores referidos anteriormente, por meios de *shields* ou módulos de comunicação. Refira-se ainda como vantagem o fato da sua utilização não se traduzir num custo adicional à sua implementação.

4.4.1. Bluetooth HC-05 e HC-06

A comunicação Bluetooth foi implementada neste projeto devido à sua simplicidade de funcionamento e ao facto de as placas de leitura ELM, *shield CAN-BUS* Sparkfun ou *shield* SN65HVD234, quando ligadas à porta OBD, permitirem diagnósticos realizados por interfaces exteriores, sendo estes feitos via Bluetooth. Na tabela 27 encontram as características principais dos módulos Bluetooth HC-05 e HC-06.

Tabela 27 – Características Bluetooth.

Características Bluetooth HC [99]	
Versão	Bluetooth v2.0+EDR
Frequência	2.4 GHz ISM band
Modulação	GFSK
Emissão	≤4 dBm, Class 2
Sensibilidade	≤-84 dBm at 0.1 % BER
Velocidade Assíncrona	2.1 Mbps (Max) / 160 kps
Velocidade Síncrona	1 Mbps / 1 Mbps
Segurança	Autenticação e Encriptação
Conectividade	Porta série (RS-232)
Alimentação	+3.3/5.0 VDC 50 mA
Temperatura	-20 °C até 75 °C

A escolha de componentes para a comunicação Bluetooth recaiu no HC-05 e no HC-06. O módulo HC-05 (figura 42) tem um *firmware* que lhe permite ser mestre ou escravo, sendo que o HC-06 (figura 43) apenas pode ser escravo. Para além da configuração de pinos normal (RX, TX e alimentação), o HC-05 tem dois pinos adicionais:

KEY – se colocado a 5 V quando o módulo for ligado, ativa o modo de programação (recebe comandos AT) à velocidade de 38.4 kbps. Se colocado a 5 V depois de ligado o módulo, recebe os comandos a 9.6 kbps.

STATE – se estiver no nível lógico baixo o módulo não está emparelhado com outro interface Bluetooth. Quando se estabelece uma ligação Bluetooth, este pino muda de estado para um nível lógico alto.

HC-05



Figura 42 – Modulo Bluetooth HC05 (Mestre).

HC-06



Figura 43 – Modulo Bluetooth HC06 (Escravo).

O módulo HC05 sendo o mestre, foi o que sofreu maior configuração. O primeiro passo efetuado, durante a configuração, foi a alteração do nome para um mais adequado a este projeto. O nome de origem, HC-05, foi alterado para OBDARDUINO usando o comando `AT+NAME=OBDARDUINO`.

Como os módulos Bluetooth necessitam de estar emparelhados para comunicar entre si, começou-se por procurar o endereço MAC do módulo escravo, através do comando `AT+INQ`, que mostra os endereços MAC disponíveis.

Com o endereço MAC do módulo escravo, este é adicionado a lista de endereços específicos do módulo mestre através do comando `AT+BIND="MAC do módulo escravo"`. Estes passos são executados dado o modo de funcionamento escolhido ter sido “Ligar a módulo específico”, o qual se adequa melhor ao projeto. Este modo é selecionado através do comando `AT+CMODE=0`. Caso se pretenda que o módulo mestre ligue ao primeiro módulo escravo que encontre, executa-se o seguinte comando, `AT+CMODE=1`. Por fim, existe o modo *Loop* que permite alterar o seu modo de funcionamento entre mestre ou escravo. Este modo é obtido através do comando `AT+CMODE=2`.

Após realizar o passo do endereço, adicionamos o MAC do escravo à lista de módulos emparelhados através do comando `AT+PAIR= "MAC do escravo,30"` (este valor serve para definir o tempo, em segundos, que o módulo mestre está à espera que a comunicação seja estabelecida).

O passo final no processo compreende o estabelecimento da ligação entre os módulos. Neste caso recorre-se ao comando `AT+LINK= "MAC do escravo"`. Estando realizados estes passos, sempre que o módulo mestre ligar, procura o endereço MAC do escravo e liga-se automaticamente.

Adicionalmente, foi alterada a velocidade da comunicação para um débito de valor superior. A velocidade padrão dos módulos, 9.6 kbps, é um valor muito reduzido para realizar a comunicação em tempo real, o que torna a interação do utilizador com a interface muito lenta, correndo-se o risco de ocorrer perda de informação. Assim sendo, é definido o valor 115.2 kbps, máximo que o Bluetooth suporta, para todas as comunicações série entre o Arduino, os módulos de comunicação, o ELM327 e as interfaces exteriores.

Este valor foi definido no módulo mestre através do comando `AT+UART=115200,0,0`. Sendo que o valor 115200 corresponde a 115.2 kbps, o primeiro 0 representa o valor para o stop bit e o último 0 define que não existe paridade.

No módulo escravo a alteração do débito da transmissão é definida através da função AT+UART8, sendo que o 8 corresponde a 115.2 kbps. Esta alteração foi a única efetuada no módulo escravo. Na figura 44, é apresentado o módulo Bluetooth conectado à placa ELM327 que foi utilizada durante o projeto.

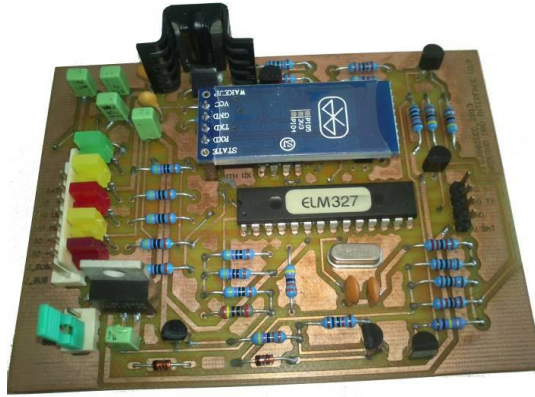


Figura 44 – Placa ELM327 com o módulo Bluetooth HC06 (Escravo).

4.4.2. GPS

Um dos aspetos fulcrais neste projeto compreende a aquisição de um conjunto de parâmetros do veículo que devem ser registados com a informação de localização do VE.

O módulo GPS escolhido foi o *Adafruit Ultimate GPS* (figura 45). A escolha recaiu neste módulo visto ser compatível com o Arduino e possuir um tamanho reduzido. O referido módulo possui as seguintes características:

- 66 canais com atualização de 10 Hz e sensibilidade de -154 dBm;
- Bateria para o *Real Time Clock* (RTC);
- Ligação para antena externa;
- Sinal lógico de GPS fixo.



Figura 45 – GPS com antena exterior.

Este módulo é composto por um *chipset* MTK3339, capaz de fixar 22 satélites nos 66 canais e fornecer a localização até dez vezes por segundo. Este *chipset* na versão 3, utilizado neste projeto, permite a realização de *logging* interno a cada 15 segundos durante 16 horas. No entanto, esta função não foi utilizada uma vez que a taxa de amostragem da informação de *logging* necessária é superior ao valor suportado.

Além da antena interna, o GPS possui uma ligação para acoplar uma antena externa, através de um conector *uFL*, permitindo uma localização mais rápida e eficiente. Esta antena externa é necessária em ambiente veicular uma vez que a interna, quando localizada no interior do automóvel, tem dificuldades em fixar o sinal proveniente dos satélites da constelação.

A utilização de uma bateria (CR1220) é fundamental para efetuar eficazmente o registo dos valores, uma vez que mantém o RTC a funcionar corretamente e possibilita um arranque rápido do GPS, aspeto crucial no trabalho a desenvolver visto que é necessário que o módulo esteja sempre disponível.

O módulo GPS comunica com o Arduino através da porta série a uma velocidade de 9.6 kbps enviando os valores da longitude, da latitude, da altitude e da velocidade bem como da hora a que é realizado o pedido.

4.4.3. Ethernet /SD Card

A comunicação com a base de dados foi estabelecida através de um *modem / router* com suporte a uma ligação TCP / IP, sendo a comunicação com o Arduino realizada através de um conector RJ45 capaz de suportar uma ligação de 10 / 100 Mbps.



Figura 46 – Shield Ethernet W5100.

O Arduino disponibiliza a ligação à *Ethernet* através de uma *shield Ethernet*, que possui um controlador *Wiznet W5100* (figura 46). Este possui um *buffer* de 16 K de capaz de suportar uma ligação *Transmission Control Protocol* (TCP) e *User Datagram Protocol* (UDP) assim

como até 4 *sockets* em simultâneo. A ligação / alimentação estabelece-se com o Arduino através de uma ligação *Serial Peripheral Interface* (SPI). A *shield Ethernet* contém um leitor micro-SD, sendo este utilizado para armazenar a informação recolhida do veículo, caso necessário.

Como o controlador *Wiznet W5100* e o leitor micro-SD utilizam a comunicação SPI, é necessário estabelecer uma ordem para comunicação. Desta forma, é utilizado o pino 4 para o micro-SD e o pino 9 para o W5100, sendo que, quando é necessário estabelecer uma comunicação, o respetivo pino muda o estado lógico para um valor baixo (0 V), passando a um valor lógico alto (5 V) no final da comunicação.

4.4.4. ELM 327

O circuito integrado ELM327, representado na figura 47, é um microcontrolador PIC18F2480, que foi alterado pela ELM Electronics para suportar diagnóstico OBD. A principal função deste microcontrolador é adquirir os dados disponíveis na porta de diagnóstico (OBD-II) e convertê-los em dados que possam ser processados externamente. O *layout* com as funções dos pinos encontra-se no anexo 8.1.



Figura 47 – Circuito Integrado ELM 327.

Características principais [100]:

- Suporta velocidade em RS232 até 500 kbps;
- Monitorização dos valores de tensão da bateria;
- Completamente configurável através de comandos AT;
- Busca automática de protocolos;
- Suporta 12 protocolos;
- Suporte para ligação de MCP2551.

4.4.4.1. Protocolos suportados

Os protocolos suportados pelo ELM327 foram apresentados anteriormente na tabela 11, tendo estes em comum a comunicação CAN. No entanto, o ELM327 também suporta os protocolos SAE J1850 PWM, SAE J1850 VPW, ISO 9141-2 e ISO 14230-4 KWP.

Por omissão, o ELM327 é iniciado com a procura de protocolos automática, sendo que, ao ser detetado o protocolo, este é utilizado até o módulo ser desligado ou receber algum comando para alterar o protocolo ou efetuar uma pesquisa automática. Caso seja necessário, é possível definir o protocolo a utilizar quando se inicializa o módulo, através de um comando AT específico. Por exemplo, para utilizar o protocolo ISO 9141-2, é necessário enviar o comando “Set Protocol”, enviando “AT SP3” (comandos disponíveis no *datasheet* do ELM327). Caso o comando seja aceite, o ELM327 responde com “OK”. Desta forma, sempre que o ELM327 for iniciado é selecionado o protocolo ISO 9141-2 [11].

Para consultar o protocolo em uso, envia-se o comando “AT DP” (*Describe Protocol*). O ELM327 retorna o protocolo atual, neste caso ISO 9141-2. Se for necessário recorrer novamente a pesquisa automática, é enviado o comando “AT SP0”.

A velocidade do ELM327 foi alterada para corresponder com a velocidade definida para todos os módulos de comunicação. Para isso, utilizou-se o comando “AT PP 0C SV 23”, sendo o valor “PP 0C” o endereço do registo em que está guardado o valor da velocidade. O valor do divisor que define a velocidade é calculado dividindo os 4000 kbps (velocidade interna do ELM327), pelo valor que nos dá a velocidade desejada, neste caso de 115200 bps. O divisor para esta velocidade é o 35, $4000/35 = 114.3$ kbps, que é o valor mais próximo. Sendo este número um decimal, é necessário converter para hexadecimal, que corresponde a 23.

Para alterar a velocidade, além de enviar o comando AT referido anteriormente, é necessário enviar o comando “AT PP 0C ON” e reiniciar o ELM327 para a velocidade ficar definida [13, 14].

4.4.5. MCP 2551

O MCP2551, representado na figura 48, é um dispositivo CAN de alta velocidade, tolerante a falhas, que serve de interface entre um controlador de protocolo CAN (ELM327 ou MCP2515) e o barramento físico CAN, operando a uma velocidade de até 1 Mbps. Este oferece transmissão e receção diferencial ao controlador de protocolo CAN, sendo totalmente compatível com a norma ISO-11898.

O MCP2551, representado pela figura 51, é produzido pela *Microchip Technology* [12].

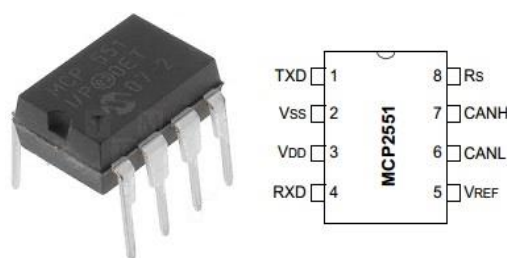


Figura 48 – Circuito Integrado MCP2551.

A ligação do MCP2551 à porta OBD é direta, sendo apenas necessário colocar uma resistência de 100 / 120 Ω em cada linha do CAN (CANH e CANL) de forma a criar uma terminação na linha de transmissão. Quando conectado à porta OBD, o MCP2551 converte os sinais digitais gerados por um controlador CAN para sinais adequados para a transmissão no barramento (saída diferencial). A conexão com o controlador do barramento CAN é efetuada através dos pinos TXD e RXD

4.4.6. MCP 2515

O circuito integrado MCP2515, representado na figura 49) é um controlador CAN que implementa as especificações da rede CAN 2.0B. O controlador suporta o envio e a receção nos dois formatos disponíveis: *standard* ou *extended*, seleccionando apenas a informação necessária, reduzindo a informação enviada para o microcontrolador.

A ligação com o barramento CAN é realizada através do MCP2551, designadamente pelos pinos TXCAN e RXCAN. A ligação com o microcontrolador é realizada através de uma ligação SPI, que se encontra nos pinos CS, SO, SI e SCK.



Figura 49 – Circuito Integrado MCP2515.

Principais características [101]:

- Suporte CAN 2.0B a 1 Mbps;
- Dados em formato *standard* ou *extended*;
- Dois *buffers* de receção que guardam mensagens com priorização;
- Três *buffers* que guardam mensagens com priorização e funções de abortar;
- Seis filtros digitais de 29 bit;
- Duas máscaras 29 bit;
- Interface *Serial Peripheral Interface* (SPI) a 10 MHz;
- Pino com a função de relógio;
- Monitorização do *Start Of Frame* (SOF);
- Tensão de funcionamento: 2.7 V a 5.5 V.

4.4.7. Módulo 1: Baseado no ELM327

O módulo que utiliza o ELM327 foi projetado para trabalhar com veículos de combustão interna, no entanto, é possível obter valores dos veículos híbridos uma vez que estes necessitam de cumprir as normas antipoluição. Como tal, o pedido de PID funciona da mesma forma, com a exceção da existência de novos PID devido à motorização elétrica.

A figura 50 (e também no anexo 8.2) ilustra o *layout* da placa do módulo cuja implementação é baseada no ELM327. Refira-se que o circuito e a placa de circuito impresso foram desenvolvidos no *software* Eagle 6.4.0 tendo a placa (PCB) sido maquinada na fresadora CNC existente no GTE / DEE.

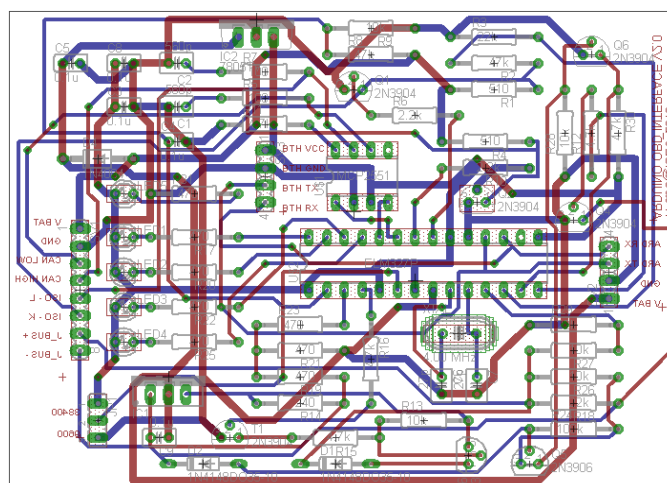


Figura 50 – Modelo Eagle da interface OBD-II.

O módulo apresentado é alimentado a partir dos pinos 16 (*battery power*) e 5 (*signal ground*) da ficha OBD-II, através de um diodo de proteção e dois condensadores para filtragem e um LM7805 para converter a tensão da bateria em 5 V e alimentar vários pontos do circuito.

A comunicação CAN é realizada através do circuito integrado MCP2551. Este CI serve de interface entre o ELM327 e o barramento CAN do veículo. No entanto, poderia ter sido utilizado outro CI, como por exemplo, o LT1796 da Linear Technology ou o NPX 82C251, mas como o MCP2551 é fornecido pela ELM sem custos adicionais, optou-se por este. A comunicação para os protocolos ISO 9141 e ISO 14230 é realizada através dos pinos 12 (ISO IN), 22 (ISO-LOW) e 21 (ISO-HIGH), sendo que o protocolo ISO-LOW é opcional em alguns veículos.

Os transístores Q1 e Q2 funcionam como comutadores quando os pinos 21 e 22 são colocados num nível lógico alto, ativando deste modo o barramento ISO, através das resistências R1 e R4. O pino 12 é ativado para receber a informação do barramento, através de um divisor de tensão (R2 e R3), funcionando como uma entrada *schmitt trigger* que, devido ao divisor de tensão, varia entre 9.1 V e 4.7 V, apresentando assim grande imunidade ao ruído e fornecendo proteção ao ELM327.

O protocolo J1850 VPW requiere uma tensão positiva de cerca de 8 V e o protocolo J1850 PWM requiere 5 V. Estes valores são obtidos através de um regulador de tensão ajustável LM317. Quando é seleccionado o protocolo J1850 VPW, o pino 3 (J1850 Volts) vai a 5 V e a saída do regulador apresenta uma tensão de 7.5/8 V ativando o pino 11 (VPW in). Se for seleccionado o protocolo J1850 PWM, o pino 3 (J1850 Volts) vai a 0 V e a saída do regulador de tensão apresenta 5 V ativando o pino 13 (PWM in).

A ativação dos barramentos J1850 Bus+ e Bus- é realizada através dos pinos 4 e 14 (Bus+ e Bus-), que são colocados no nível lógico alto. O pino 14 é só usado em PWM.

A entrada VPW usa um divisor de tensão, sendo que esta tensão apresenta valores que variam entre os 2.2 V e os 4.2 V. A entrada PWM precisa de uma conversão de tensão, de valores variáveis, para valores constantes. O transístor Q5 é usado como amplificador diferencial e o conjunto Q5-D2 define uma tensão de cerca de 1 V, apresentando imunidade contra os ruídos, a resistência R26 limita a corrente e a R24 mantém o Q4 desligado se a entrada PWM ficar em aberto.

O valor da tensão da bateria pode ser consultada pelo comando “AT RV”, sendo este obtido através de um divisor de tensão ligado ao pino 2 (*Vmeasure*), que converte a tensão da bateria para valores suportados pelo ELM327 (até 5 V).

Quando a tensão da bateria é de 12 V, a tensão no pino 2 é de aproximadamente 2 V. O condensador presente no circuito tem por função filtrar o ruído.

Os quatro LEDs ligados do pino 25 ao 28 proporcionam confirmação visual do estado do circuito. Quando o módulo é iniciado ou é feito um *reset* ao ELM327, os LEDs ligam e desligam numa sequência pré-definida. Quando são efetuadas receções e / ou transmissões os respetivos LEDs ligam como forma de confirmação.

O cristal oscilador ligado aos pinos 9 e 10 é de 4 MHz e é crucial para o funcionamento do ELM327. Foi adicionado um *jumper* para facilitar a mudança na velocidade de comunicação do CI, para efeitos de teste, entre 9.6 kbps ou 38.4 kbps. Na figura 51 é apresentado o aspeto final da placa ELM327.

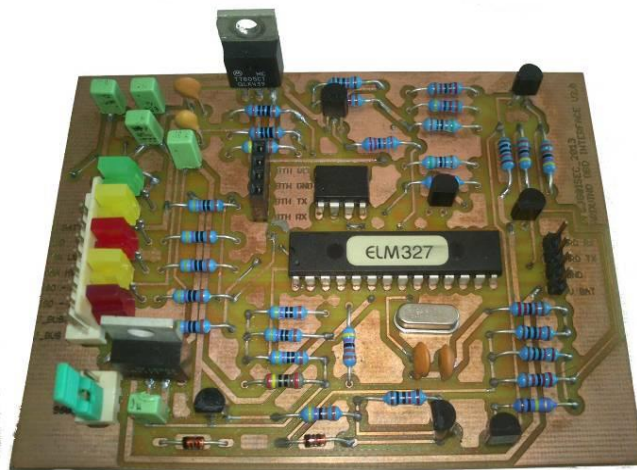


Figura 51 – Interface OBD-II com todos os componentes montados.

4.4.8. Conector OBD-II

O protocolo OBD-II define um tipo específico de conector que deve satisfazer as especificações impostas pela norma ISO 15031-3:2004 – J1962 de 16 pinos [100].

O conector OBD-II deve estar a cerca de 60 cm de distância do volante, a não ser que exista algum tipo de exceção criada pelo fabricante, mas neste caso, o conector tem que estar sempre ao alcance do condutor [100].

Na construção do cabo/conector de ligação à interface OBD-II, utilizou-se um conjunto macho/fêmea RJ45 e um cabo de rede, como é possível ver na figura 52.

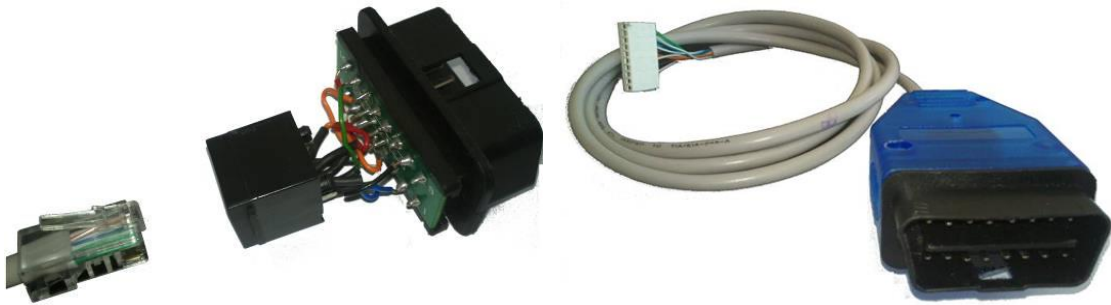


Figura 52 – Conector OBD-II (J1962).

4.4.9. Módulo 2: Shield Sparkfun CAN-BUS

A *shield* CAN-BUS Sparkfun foi desenvolvida pela empresa Sparkfun em colaboração com a SK Pang Electronics, com o intuito de possibilitar uma ligação entre um microcontrolador e uma rede CAN. Utiliza os controladores MCP2515 e MCP2551 para estabelecer a ligação entre a rede CAN e o microcontrolador. A ligação com a rede CAN é realizada através do conector DB9, sendo este conectado a um cabo que converte o conector em OBD. A *shield* apresenta ainda ligação a um LCD, a um leitor micro-SD e a um conector GPS EM406, os quais não foram utilizados neste projeto. A *shield* Sparkfun CAN-BUS apresenta as seguintes características:

- Ligação CAN v2.0B até 1 Mbps;
- Ligação SPI (10 MHz);
- Suporte CAN no formato *standard* e *extended*;
- Ligação CAN através do conector DB9;
- Alimentação através do conector DB9, com proteção de fusível e polaridade inversa;
- Conector para módulo GPS EM406;
- Leitor micro-SD;
- Conector para LCD.
- Botão de *reset*;
- *Joystick* para navegação entre menus;
- LEDs informativos.

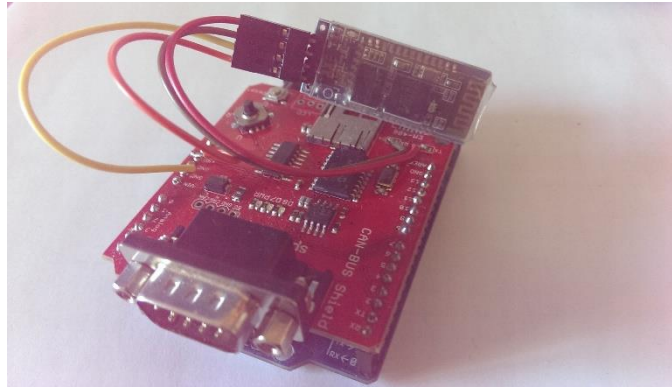


Figura 53 – *Shield* Sparkfun CAN-BUS ligado ao Arduino UNO e módulo Bluetooth.

A figura 53 apresenta a *shield* Sparkfun CAN-BUS conectada a um Arduino UNO e a um módulo Bluetooth de forma a transmitir os dados. Como tal, o seu controlo é feito através deste, e o *software* necessário é desenvolvido na plataforma de desenvolvimento IDE do Arduino. Em complemento ao código desenvolvido é necessário utilizar as bibliotecas “Canbus.h”, “defaults.h”, ”global.h”, ”mcp2515.h” e “mcp2515_defs.h”, sendo estas responsáveis pelo suporte do circuito integrado MCP2515.

No exemplo de código apresentado em seguida, este permite conectar a uma rede CAN com velocidade de 500 kbps e filtrar o ID: “11A”.

```
if(Canbus.init(CANSPEED_500)){
    Serial.println("CAN Init ok");}
else{
    Serial.println("Can't Init CAN");
    mySerial.println("Can't Init CAN");}

void loop()
{
    tCAN message;

    if (mcp2515_check_message()) {
        if (mcp2515_get_message(&message)) {
            if(message.id == 0x11A && m==0){
                Serial.print("ID: ");
                Serial.print(message.id,HEX);
                Serial.print(", ");
                Serial.print("Data: ");

                for(i=0;i<message.header.length;i++) {
                    Serial.print(message.data[i],HEX); //0 0 29 0 C 32 0 32
                    Serial.print(" ");
                }
            }
        }
    }
}
```

Desta forma, sempre que o ID é transmitido na rede CAN, o Arduino recolhe o valor e apresenta o resultado no seguinte formato: “ID: 11A, Data: A 0 29 C AB 32 0 32”. O limite de volume de dados do processo de filtragem é estabelecida pela memória do Arduino.

4.4.10. SN65HVD234

O circuito integrado SN65HVD234 (com as variantes SN65HVD233 e SN65HVD235) é um dispositivo CAN que implementa uma ligação série com a camada física de acordo com a norma ISO 11898. À semelhança do MCP2551 implementa uma ligação entre a rede CAN e um controlador CAN, com a capacidade de enviar e receber mensagens com uma velocidade até 1 Mbps.

A escolha deste dispositivo CAN deve-se ao facto de comunicar com o controlador a um nível lógico de 3.3 V, ao contrário do MCP2551 que utiliza 5 V. Desta forma, é possível integrar com o microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 presente no Arduino DUE, que suporta a ligação CAN de forma nativa, atuando como controlador de protocolo da rede CAN.

Principais características [102]:

- Tensão de alimentação 3.3 V;
- Proteção nos pinos CAN contra sobretensão até 36 V;
- Compatível com a norma ISO 11898-2;
- Alta impedância de entrada permite a conexão à rede CAN bus até 120 nós;
- Permite conexão com o controlador CAN até 5 V;
- Permite ligar a desligar sem perturbar a rede CAN.

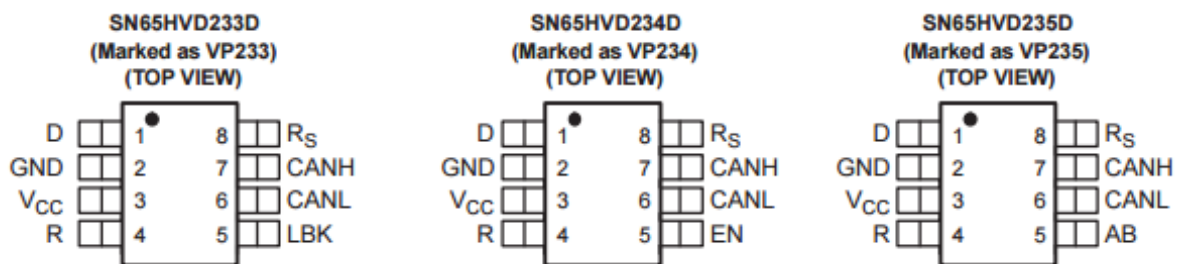


Figura 54 – Variantes SN65HVD233/4/5 [102].

Como referido anteriormente, existem três variantes distintas deste circuito integrado: SN65HVD234, SN65HVD233 e SN65HVD235 (representados na figura 54) que possuem as seguintes características:

- SN65HVD233 – este modo é ativado colocando 3.3 V no pino proprietário desta variante, o *Loopback* (LBK) (pino 5). Quando ativo este modo, o bus de saída e entrada ficam num estado de alta impedância e internamente o caminho do pino D para o R permanecem ativos criando um *loopback*, desta forma cria-se condições para o autodiagnóstico à rede CAN ao qual está ligado.
- SN65HVD234 – esta variante permite a redução do consumo normal em standby (200 μ A) para apenas 50 nA. Este modo desliga os pinos de CAN e pode ser ativado através do pino proprietário desta variante, o 5 (EN), colocando este a massa.
- SN65HVD235 – este modo é ativado através do pino proprietário desta variante, *Autobaud Loopback* (AB) (pino 5), que o coloca apenas em modo de receção. Desta forma, o circuito integrado consegue determinar automaticamente a velocidade do CAN bus. O caminho interno entre o pino D e R (figura 55) é conectado tornando possível o controlador CAN bus auxiliar na deteção da velocidade da rede CAN bus.

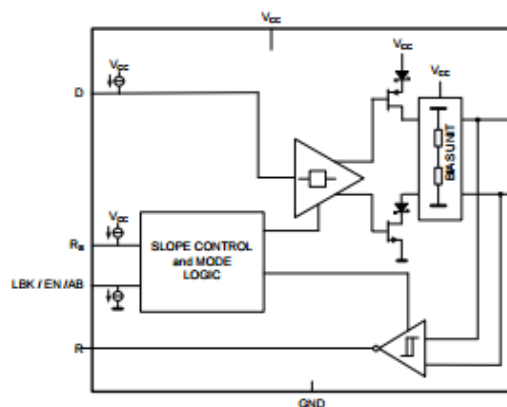


Figura 55 – Diagrama SN65HVD23x.

Nos trabalhos realizados neste projeto a escolha recaiu no SN65HVD234, visto que o consumo em *standby* num automóvel é de extrema importância. Desta forma, o IC pode permanecer conectado a rede CAN do veículo sem descarregar a bateria.

4.4.11. Módulo 3: Shield EV Dual CAN

Para efetuar a comunicação com as redes CAN do veículo foi desenvolvida uma placa responsável por esta tarefa, a qual se encontra interligada com o microprocessador. Esta placa tem como principal objetivo permitir o estabelecimento de uma ligação ao barramento CAN do veículo elétrico, em específico à CAR CAN e à EV CAN.

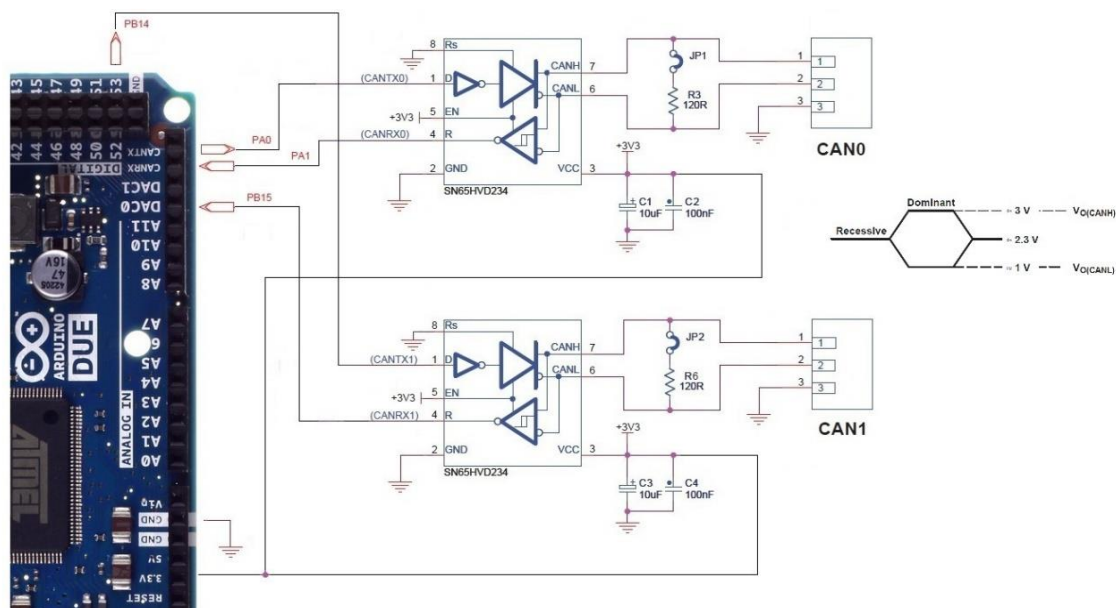


Figura 56 – Esquema de ligação do Arduino DUE a dois SN65HVD234.

A ligação ao barramento CAN é feita pelos pinos CANRX e CANTX, sendo possível implementar uma segunda ligação CAN bus através dos pinos DAC0 (CANRX) e 53 (CANTX). Os pinos mencionados ligam a dois controladores CAN SN65HVD234, permitindo o acesso a duas redes CAN em simultâneo, conforme se pode observar na figura 56.

A *shield*, além de implementar a comunicação CAN, implementa também suporte para comunicação Bluetooth, GPS e uma ligação a um LCD. Possui ainda dois reguladores de tensão, 5 V e 3.3 V alimentados pelo conector OBD, evitando dessa forma a necessidade de alimentação externa ao Arduino DUE. O *layout* da placa de circuito impresso foi desenvolvida através do *software* de prototipagem de PCB's EAGLE 6.5.0, sendo o esquema final representado na figura 57.

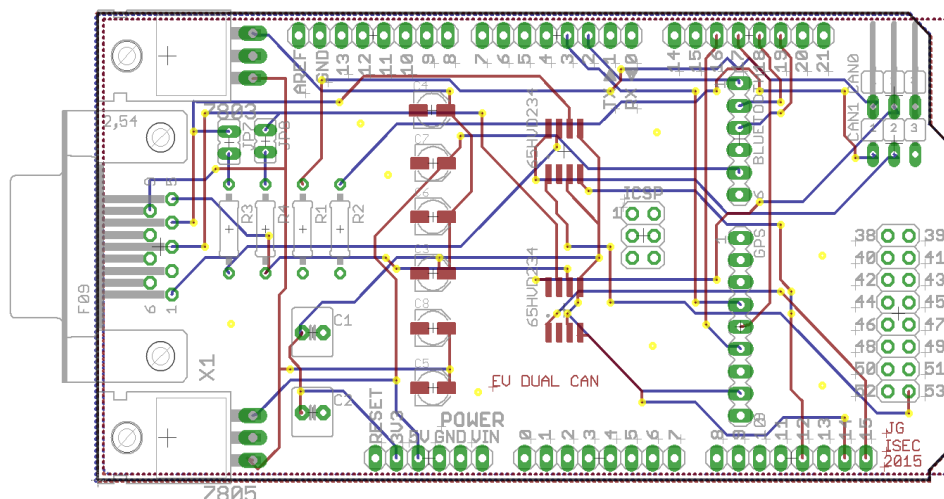


Figura 57 – Esquema *shield* EV Dual CAN.

Os controladores SN65HVD234 utilizados no desenvolvimento da *shield*, não se encontram nativamente nas bibliotecas do EAGLE ou *online*. Como tal, foi necessário desenvolver uma biblioteca, sendo explorado a sua criação no anexo 8.3.

A *shield* tem dois *jumper's* associados aos dois controladores. Um dos *jumper's* coloca uma resistência de 120 Ω entre as linhas CANH e CANL. Desta forma, quando o *jumper* está ligado, este representa o fim das linhas CAN. Caso se remova o *jumper*, é possível conectar outro módulo com comunicação CAN, sendo este o responsável por introduzir a resistência no circuito de forma a terminar as linhas CAN.

O outro *jumper* possui duas opções, tendo ambas a saída RS de cada controlador em comum: a primeira opção conecta a saída RS diretamente à massa (pin nº 2 e 3) e a segunda opção coloca uma resistência de 10 k Ω entre a saída RS e a massa (pin nº 1 e 2). Quando conectado através da primeira opção o controlador fica no modo *high-speed*. Caso seja colocado na segunda opção muda o estado para *slope-control*.

As linhas CAN de cada controlador terminam num conector DB9 (figura 58), estando estas dispostas da seguinte forma (tabela 28):

Tabela 28 – Conector DB9.

Conector DB9	
Pino	Função
1	EV CANH
2	Massa
3	CAR CANH
4	EV CANL
5	CAR CANL
9	+12V

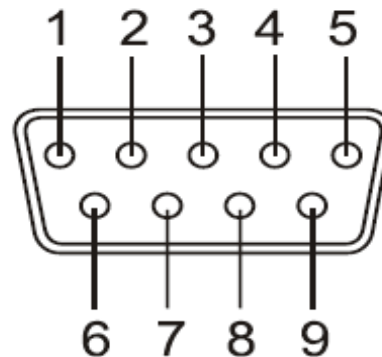


Figura 58 – Conector DB9.

Como referido anteriormente, a *shield* possui dois reguladores alimentados pelo conector OBD, sendo a tensão de entrada entre os 12 V e os 14 V. Como tal, a escolha do regulador de 5 V recaiu no 7805 capaz de suportar uma tensão de entrada de 5 a 18 V e uma corrente de 1 A. A escolha por um regulador de 3.3 V recaiu no LM1085IT-3.3 visto suportar uma tensão de 4.5 a 15 V e ser capaz de fornecer 3 A. Estes reguladores tem como função alimentar o Arduino DUE, o Bluetooth, GPS e a *shield Ethernet* quando conectada.

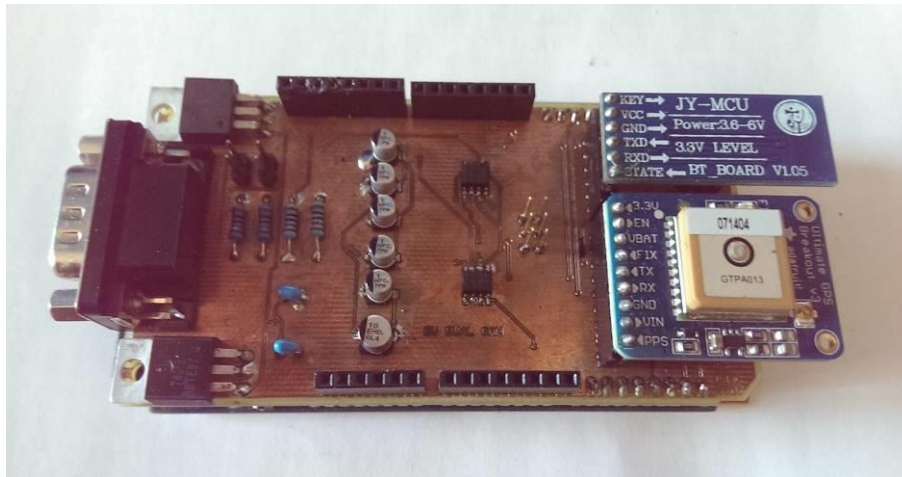


Figura 59 –Shield EV Dual CAN com módulo Bluetooth e GPS.

Na figura 59 a *shield* encontra-se conectada ao Arduino DUE e com o módulo Bluetooth e GPS também conectados. Na figura 60 é apresentado o aspeto final da *shield* com todos os módulos conectados, incluído a *shield Ethernet* que permite estabelecer uma comunicação com a base de dados via TCP/IP.

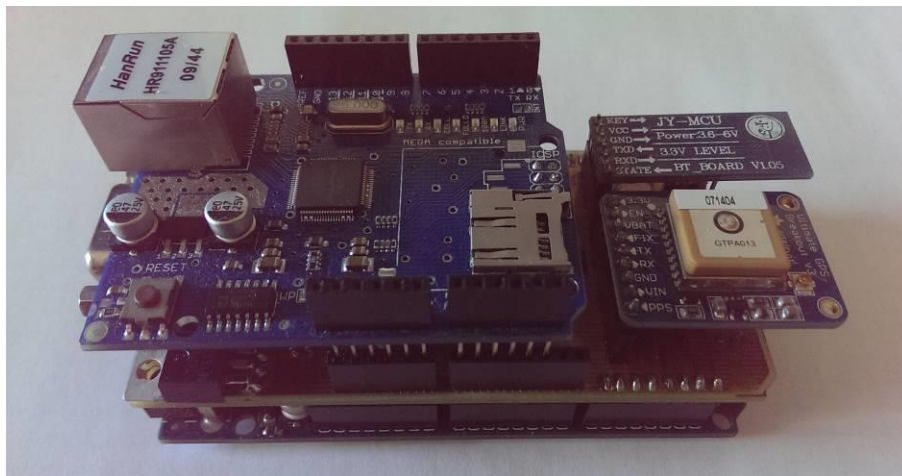


Figura 60 – Acoplamento do Arduino DUE à shield EV Dual CAN e restantes módulos.

Software Shield EV Dual CAN

Para controlar a *shield* EV Dual CAN foi desenvolvido um programa na plataforma IDE do Arduino. Os componentes utilizados na *shield* necessitam de bibliotecas específicas, no entanto, apenas será apresentado o controlo necessário para a comunicação com a rede CAN através dos dois integrados SN65HVD234.

```
#include "variant.h"
#include <due_can.h>

void setup()
{
  Can0.begin(CAN_BPS_500K);
  Can1.begin(CAN_BPS_500K);
  int filter;

  for (filter = 0; filter < 3; filter++) {
    Can0.setRXFilter(filter, 0, 0, true);
    Can1.setRXFilter(filter, 0, 0, true);
  } //extended

  for (int filter = 3; filter < 7; filter++) {
    Can0.setRXFilter(filter, 0, 0, false);
    Can1.setRXFilter(filter, 0, 0, false);
  } //standard
}

void loop(){
  CAN_FRAME incoming;

  if (Can0.available() > 0) {
    Can0.read(incoming);
    printFrame(incoming);
  }
  if (Can1.available() > 0) {
    Can1.read(incoming);
    printFrame(incoming);
  }
}
```

A comunicação com as duas redes CAN é estabelecida a 500 kbps, no entanto, é possível definir velocidades diferentes para cada uma delas. Por defeito, a biblioteca tem suporte para sete filtros, sendo que, no exemplo apresentado, são filtrados três com o formato *extended* e quatro com o formato *standard*. As duas redes CAN estão continuamente em monitorização sendo que, quando é transmitido um ID especificado no filtro, o Arduino apresenta no seguinte formato: “ ID: 0x09 Len: 8 Data: 0xA 29 C A AB 28 10 E”. Em complemento ao código apresentado é necessário incorporar as bibliotecas “variant.h” e “due_can.h”. O excerto de código seguinte permite estabelecer a comunicação com duas redes CAN.

4.5. Gestão de informação e ferramentas utilizadas

Após se ter implementado o *hardware* responsável pela monitorização dos dados da rede CAN de um VE, foi necessário implementar um sistema de informação o que é responsável pelo armazenamento e gestão dos dados que serão utilizados pelas aplicações associadas ao utilizador e ao operador de energia.

O suporte a estas funcionalidades é feito através do Raspberry Pi 2, com o SO Raspbian. Este dispositivo aloja uma base de dados (MySQL) que permite a consulta e registo por parte do fornecedor de energia. Adicionalmente, aloja ainda uma página *web* desenvolvida com recurso a HTML com CSS, sendo a comunicação desta com a base de dados realizada através de PHP, assim como a comunicação do microcontrolador com a base de dados.

4.5.1. Funcionalidades

A *interface* com o utilizador (página *web*) permite essencialmente a consulta dos dados referentes ao veículo nos percursos realizados. De entre eles refira-se:

- O estado do SOC ao longo do percurso;
- O consumo total de energia ao longo do percurso;
- Os valores da tensão e da corrente da bateria, o correspondente valor de potência instantânea e o valor da velocidade em determinado ponto do percurso;
- O tempo de carga necessário para carregar completamente as baterias dependendo do tipo de carregador.

No entanto, a informação crítica do sistema está guardada na base de dados, tendo esta como principais funções:

- Informar o operador de rede;
- Permitir o acesso do *software* de gestão de cargas implementado em casa do utilizador;
- Disponibilizar a informação para o serviço *web*.

4.5.2. Servidor

O servidor é composto pelo Raspberry Pi 2 com o sistema operativo *Raspbian* e uma ligação *Ethernet* de forma a ser possível o acesso a este pelo exterior. O servidor possui três pacotes instalados: o *Apache*, que tem por função alojar e apresentar as páginas *web*; o MySQL, que é responsável por criar uma base de dados e guardar os dados enviados pelo veículo e por fim o *phpMyAdmin*, que apresenta uma interface gráfica para se proceder à gestão da base de dados, sendo estes explorados mais em detalhe de seguida. A figura 61 representa a arquitetura de ICT no qual se observa que a base de dados e os dados nela constante são partilhados pelo agregador de informação e pelo agendador que é responsável pelo escalonamento das cargas, com particular ênfase no carregamento do VE e na implementação do conceito V2G.

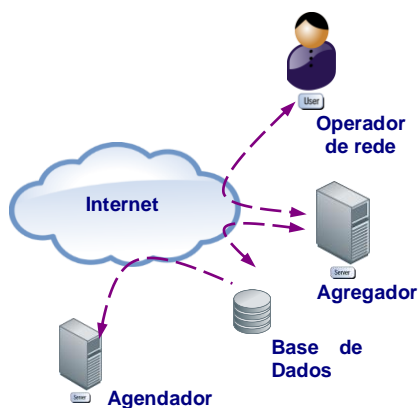


Figura 61 – Esquema ligação à base de dados, agregador, operador de rede e agendador.

A ligação com a base de dados / servidor é realizada através do protocolo TCP / IP. Como tal, é necessário saber o endereço IP do servidor, de forma a registar a informação corretamente. Caso seja necessário, pode-se alojar no servidor um serviço *Domain Name Service* (DNS) para estar acessível através de um URL. Desta forma, caso o IP do servidor se altere, o serviço atualiza automaticamente o seu endereço.

4.5.2.1. Apache

O *Apache* criado, em 1995, por Rob McCool, é um pacote desenvolvido pela Apache Software Foundation com o intuito de criar um servidor de páginas *web*. Em 2010, o *Apache* encontrava-se instalado em 47.20 % dos servidores de páginas *web* [82].

O pacote pode ser usado em plataformas com diferentes SO como Windows, Unix, Linux e Mac OS X, permitindo a criação de um servidor *web* fiável, seguro e configurável. Este pacote permite correr páginas *web* (HTML+CSS / PHP) com imagens e vídeos, assim como estabelecer a comunicação por PHP a uma base de dados *MySQL* de forma a ser possível enviar e receber informação desta. Na realização deste projeto o servidor *Apache* foi instalado no sistema operativo *Raspbian*.

4.5.2.2. MySQL

O *MySQL* é um Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD), que utiliza a linguagem de consulta estruturada, *Structured Query Language* (SQL), como interface. É atualmente uma das bases de dados mais populares, com mais de 10 milhões de instalações pelo mundo [103]. O *MySQL* suporta linguagens como *Delphi*, *Java*, *C/C++*, *C#*, *Visual Basic*, *Python*, *Perl*, *PHP*, *ASP* e *Ruby*, sendo ideal para a plataforma a desenvolver para este projeto.

O *software* escolhido para o tratamento da base de dados é o *phpMyAdmin*, um aplicativo *web* desenvolvido em *PHP*, que permite criar e remover bases de dados, criar, remover e alterar tabelas, inserir, remover e editar campos, executar códigos SQL e manipular campos de chaves. Em complemento às características enumeradas, de referir ainda que o aplicativo é fiável, livre de custos e permite acesso remoto. Estas características foram essenciais para a escolha deste *software*. No início de cada percurso é criada uma tabela que agrega toda a informação necessária para a implementação do conceito V2G. A figura 62 apresenta as tabelas criadas no decorrer deste projeto: Circuito, Ampera e Markers.

google.Circuito	google.ampera	google.markers
#id : int(2)	#id : int(3)	#id : int(11)
#Latitude : decimal(8,6)	#Volt : decimal(5,2)	@lat : varchar(45)
#Longitude : decimal(8,6)	#AMP : decimal(6,2)	@lng : varchar(45)
#Altitude : decimal(4,2)	#Speed : int(3)	@name : varchar(25)
#Velocidade : decimal(4,2)	#SOC : int(2)	@SOC : varchar(8)
@SOC : varchar(4)	#LAT : decimal(8,6)	@tensao : varchar(10)
#GIDS : int(3)	#LNG : decimal(8,6)	@corrente : varchar(10)
@KWh : varchar(4)		#velocidade : int(11)
@SOH : varchar(5)		
@VOLT HV : varchar(5)		
@Current HV : varchar(6)		
@PWR Batt W : varchar(7)		

Figura 62 – Tabelas desenvolvidas através do *phpMyAdmin*.

No desenvolvimento da base de dados, procedeu-se à criação de uma tabela para cada percurso realizado. Para o Nissan Leaf foram criadas varias tabela, no entanto, para efeito de exemplo, é apenas apresentada a tabela “percurso”, sendo esta representativa do percurso realizado em torno do campus do ISEC. O Chevrolet Ampera possui a tabela “ampera”, visto que apenas realizou um percurso. A tabela “*markers*” foi concebida com o intuito de auxiliar a representação dos valores registados ao longo do percurso.

4.5.3. Linguagem de programação

Para o desenvolvimento da linguagem de programação do lado do servidor, foi utilizado o *software NetBeans*. Este é gratuito, de código aberto e pode ser instalado em diversos SO como o *Windows*, *Linux*, *Solaris* e *MacOS*. Apresenta ainda um ambiente de desenvolvimento integrado que permite utilizar diferentes linguagens de programação entre elas o *Java*, *C*, *C++*, *PHP*, *HTML* e *Groovy*, *Ruby*.

4.5.3.1. PHP

O *Hypertext Preprocessor* (PHP) é um *software* gratuito e de código aberto, que permite implementar aplicações que correm em servidores, gerando conteúdos dinâmicos. Estas aplicações são criadas com o intuito de comunicar com o utilizador / cliente, com a base de dados, ou para permitir o envio e receção de informação com uma plataforma exterior [104].

A utilização do PHP neste projeto permite interligar toda a informação disponibilizada. A informação relativa ao VE é atualizada na base de dados através de PHP sendo posteriormente recolhida por um serviço *web* que implementa PHP, HTML, CSS e *Javascript*.

4.5.3.2. HTML e CSS

O *HyperText Markup Language* (HTML) é uma linguagem de marcação utilizada na criação de páginas *web*. Esta linguagem permite que um *browser* interprete a informação e a disponibilize ao utilizador de forma a este entender o seu conteúdo.

Em complemento ao HTML é utilizado o *Cascading Style Sheets* (CSS) que permite definir uma formatação específica para a página *web*, assim como o seu aspeto. Além do HTML, o CSS pode ser implementado em XML. A formatação da página *web* é obtida através de uma ligação a uma página *web* que contém diferentes estilos, sendo que cada página *web* pode ter uma formação diferente. O CSS utiliza uma sintaxe simples e uma série de palavras em inglês para especificar os nomes de diferentes estilos de propriedade de uma página. Em resumo, o CSS em conjunto com o HTML, permite a criação de uma página *web* visivelmente mais agradável, sendo possível alterar o aspeto da página com aplicação de temas diferentes.

4.5.3.3. JavaScript

O *JavaScript* é uma linguagem de programação dinâmica, utilizada principalmente em navegadores *web* para criar uma interação do lado do cliente com o utilizador. O *JavaScript* implementa um controlo sobre o navegador *web*, uma ligação assíncrona e altera / atualiza a página se necessário.

Com o intuito de fornecer ao utilizador uma ferramenta de análise visual dos parâmetros dos veículos elétricos ao longo do seu percurso utilizou-se o *Google Maps JavaScript API*. Esta API permite a criação de um mapa personalizado que oferece vários tipos de informação:

- Serviço de pesquisa e visualização de mapas;
- Imagens de satélite;
- Mapas e rotas dos Estados Unidos da América, Canadá, União Europeia, Austrália e Brasil, entre outros;
- Criação de rotas e pontos de interesses;
- Visualização em modo *Street View*;
- Em algumas cidades é possível ver os edifícios em 3D.

A escolha desta API recaiu essencialmente pelo facto de ser gratuita, de existir imensa informação disponível e permitir a localização em tempo real através dos dados disponíveis numa base de dados.

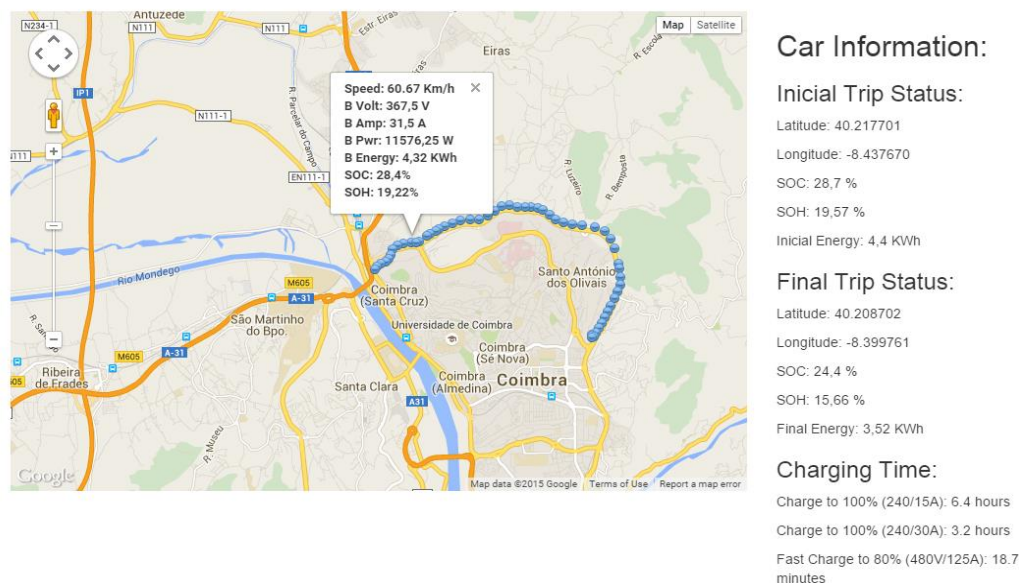


Figura 63 – Mapa com informação do percurso usando a *Google Maps API*.

A figura 63 apresenta um exemplo da página desenvolvida nas tecnologias e linguagens mencionadas: *JavaScript*, *MySQL*, *HTML* e *CSS*. Como se pode verificar através da figura apresentada, o utilizador dispõe de um mapa, que pode ter vista de mapa ou de satélite, com pequenos marcadores que indicam a posição do carro. Em cada marcador é possível verificar os valores da velocidade do carro, tensão, corrente e potência da bateria, estado de carga da bateria e saúde da bateria.

Em complemento à informação apresentada no mapa, o utilizador dispõe das coordenadas de início e fim do percurso, assim como do valor do SOC, do SOH e da energia presente nas baterias nesses dois pontos. A informação do tempo de carga é estimada tendo em consideração os valores de tensão e correntes apresentados.

4.6. Sumário e Conclusões

Este capítulo apresenta sucintamente o *hardware* e *software* desenvolvido durante a realização deste projeto. Da análise prévia aos requisitos do problema, verificou-se que o microprocessador Arduino UNO e DUE possuíam as características necessárias à implementação da solução que se pretendia para o projeto.

O facto de os módulos de comunicação *Ethernet*, Bluetooth e GPS, serem compatíveis com os microprocessadores referidos anteriormente, foi essencial para a criação de uma solução compacta e fiável.

O Raspberry Pi 2, como servidor de base de dados e alojamento de páginas *web*, torna-se numa solução fiável e económica.

As placas de circuito impresso desenvolvidas tiveram o intuito de proporcionar um meio de comunicação entre o veículo e o microcontrolador. A placa ELM327 permiti-o o acesso à rede CAN do Chevrolet Volt. Por seu lado, a *shield* Sparkfun CAN-BUS e a *shield* EV DUAL CAN foram utilizadas para aceder à rede CAN do Nissan Leaf. De salientar que a *shield* EV Dual CAN implementa a leitura de duas redes CAN de um mesmo veículo através de um conector OBD.

5. RESULTADOS DOS TESTES DE CAMPO

Os testes de campo foram realizados com o intuito implementar o conceito V2G, usando dois veículos distintos: o Chevrolet Volt, e o Nissan Leaf.

Os testes de campo tiveram em comum o uso de um conjunto de *hardware* que compreende: o Arduino UNO e DUE, um recetor GPS, módulos Bluetooth, uma *shield Ethernet* e um *modem 2G/3G/4G* ou *wireless*, de forma a comunicar com a base de dados em tempo real.

5.1. Chevrolet Volt

Os testes que tiveram por base o Chevrolet Volt foram realizados no dia 9 de julho de 2014 apenas num percurso. Os dados foram recolhidos do barramento CAN pelo ELM327 e enviados por Bluetooth para serem guardados em conjunto com a informação do GPS pelo Arduino UNO. Posteriormente, estes foram enviados por um *modem 2G/3G/4G* ou por uma rede wireless para a base de dados, podendo os dados recolhidos serem consultados em tempo real. A figura 64 ilustra a arquitetura do sistema com os componentes utilizados e os protocolos através dos quais os módulos comunicam.

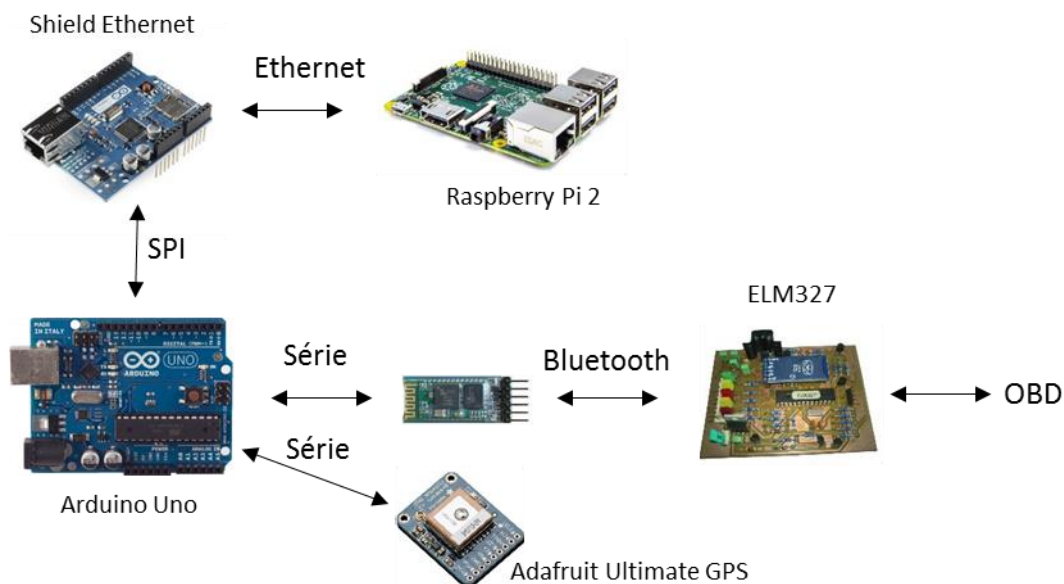


Figura 64 – Arquitetura do sistema de recolha de dados Chevrolet Volt.

Adicionalmente, o percurso realizado pode ser consultado através de um *website* que aloja a aplicação *Google Maps JavaScript API*, sendo possível ver a localização do veículo em tempo real, bem como a informação relativa a um conjunto de parâmetros que compreendem a velocidade, o SOC e a potência instantânea.

A figura 65 apresenta um percurso que teve início no campus do ISEC, designadamente no parque de estacionamento do DEE (Departamento de Engenharia Eletrotécnica). O percurso em causa compreende a Avenida Mendes Silva e parte da EN17 com passagem pela portela do Mondego.



Figura 65 – Percurso (1) com o Chevrolet Volt.

Dos dados obtidos do teste de campo realizado verificou-se que ocorreu um erro de GPS (+ / -15 m) em dois pontos, sendo que a velocidade medida nesses pontos era elevada. Como possível causa para este erro, refira-se a existência de condições desfavoráveis de propagação que impediriam a receção de um elevado número de satélites da constelação.

Um dos principais requisitos para a implementação do conceito V2G pressupõe o conhecimento do valor do SOC ao longo do percurso, valor este representado na figura 66.

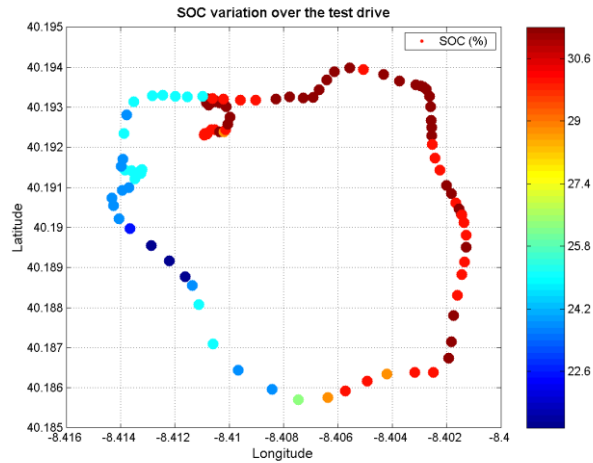


Figura 66 – Valor de SOC em função da posição (percurso 1).

Dos dados recolhidos para o percurso em análise, verifica-se que o valor de SOC no início do teste de campo era igual a 30.6 %. Verifica-se que em determinados pontos o valor do SOC aumenta devido ao arranque do motor de combustão interna de forma a manter o seu valor acima de um determinado valor mínimo.

Os valores da potência instantânea requerida pelo veículo às baterias são monitorizados durante o percurso para avaliar o consumo de energia. Os valores obtidos estão representados na figura 67. Estes estão compreendidos entre os -58 kW e os 120 kW, sendo que os pontos vermelhos e laranjas são referentes a acelerações fortes e subidas, e os pontos azuis-escuros referem-se a travagens regenerativas. O valor máximo da potência instantânea é obtido quando se verifica as seguintes condições: o motor a gasolina em funcionamento com o segundo motor elétrico em modo gerador, e travagem regenerativa.

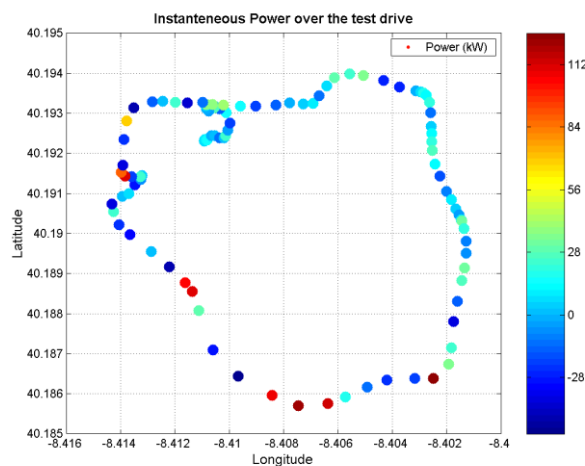


Figura 67 – Potência instantânea em função da posição (percurso 1).

Através dos dados recolhidos foi desenvolvido um gráfico apresentado na figura 68, para analisar o valor da potência instantânea e velocidade ao longo do tempo.

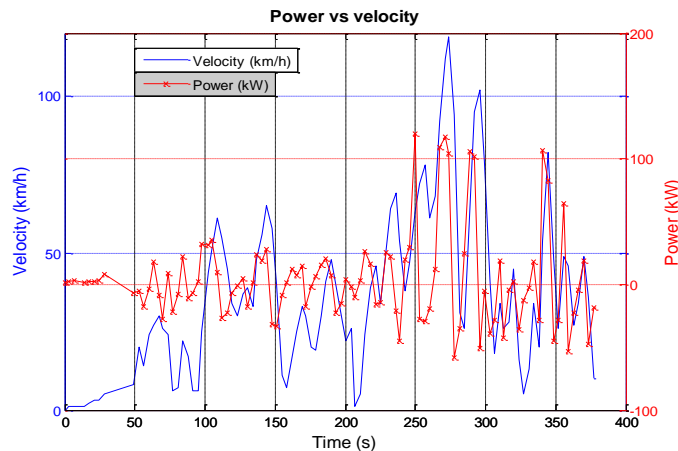


Figura 68 – Velocidade e potência ao longo do tempo (percurso 1).

Analisando os resultados conclui-se que quanto maior for a aceleração maior o valor da potência necessária requerida. Travar ou deixar de acelerar, produz energia suficiente para colmatar alguma da energia consumida durante o percurso.

5.2. Nissan Leaf

O Nissan Leaf sendo um veículo puramente elétrico e com 21 kWh de energia armazenada, é o veículo ideal para a implementação dos conceitos G2V e V2G através da porta de carregamento rápido. Os dados recolhidos deste veículo foram obtidos através da *shield* CAN-BUS Sparkfun, alterada de forma a recolher valores da EV-CAN. Os dados referentes à potência instantânea, à energia da bateria, ao SOC e ao SOH foram posteriormente enviados pelo Arduino UNO via Bluetooth para o Arduino DUE, sendo que este processa os dados recebidos e guarda em conjunto com a informação do GPS no cartão SD.

A informação é posteriormente enviada para uma base dados através dos recursos de comunicação disponíveis: ligação *Ethernet* ou ligações a redes móveis celulares através de um *modem* 2G a 4G ou redes sem fios.

Os testes de campo realizados com este veículo compreenderam sete percursos. No entanto, seis deles diziam respeito ao percurso de ida e volta, os quais pretendiam simular percursos diários habituais de, e para, a cidade de Coimbra. A figura 69 ilustra a arquitetura do sistema de aquisição de dados do Nissan Leaf, apresentado os componentes e os protocolos através dos quais os módulos comunicam.

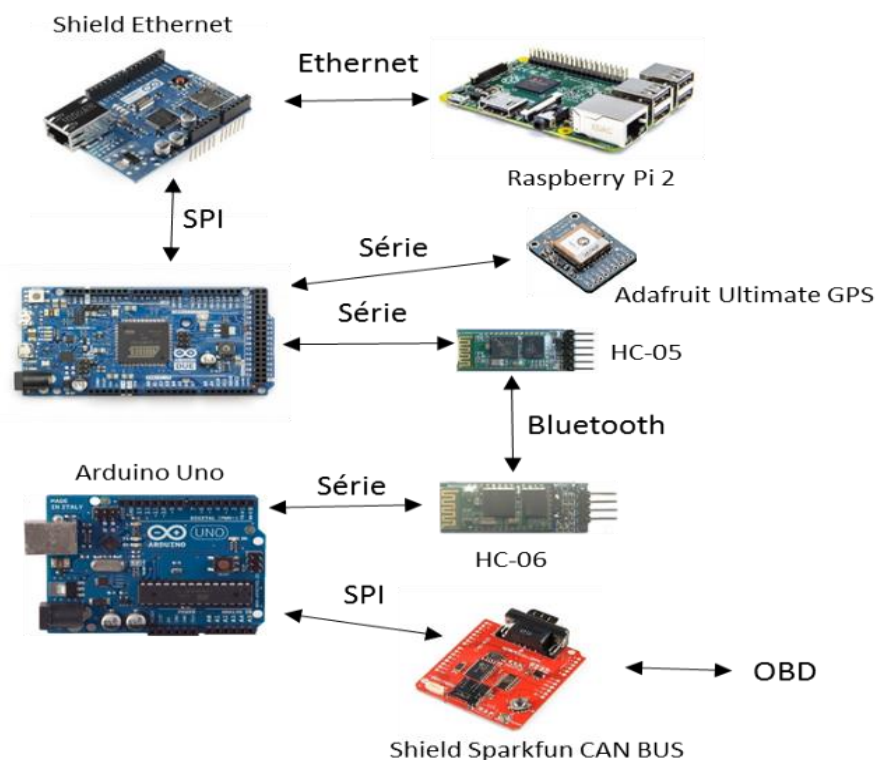


Figura 69 – Arquitetura do sistema de recolha de dados do Nissan Leaf.

Os resultados do teste de campo realizado com o Nissan Leaf, representados nas figuras 72 à 75, foram obtidos num percurso com 3.5 km de comprimento que tem início e fim dentro do campus do ISEC, sito Rua Pedro Nunes, tendo este ponto 30.5 m de altitude.

O veículo inicia a sua viagem com um valor de energia armazenada nas baterias igual a 8.24 kWh, um valor de SOC igual a 44.9 %, um valor de SOH igual a 36.7 %. O percurso inicial até a rotunda do Continente é descendente, sendo que este atinge uma altitude mínima de 12.4 m. A partir desse ponto o valor aumenta atingindo um valor máximo de altitude igual a 52.2 m na Rua Caminho do Cabeço, sendo que, a partir desse ponto o percurso é desce até a Rua Pedro Hispano e posteriormente até ao campus do ISEC.

É possível verificar que, no percurso ascendente na Rua Caminho do Cabeço, é obtido o valor máximo da potência fornecida pelas baterias, aproximadamente 45 kW. A partir do fim da referida rua, até ao campus do ISEC, o veículo realiza o percurso recorrendo a pouca potência instantânea, sendo que é maioritariamente realizado com recurso à travagem regenerativa, resultando numa potência fornecida as baterias de aproximadamente 20 kW.

No ponto de cota mais elevada as baterias apresentam o valor mais reduzido de energia armazenada na bateria, cujo valor é igual a 7.68 kWh, o SOC apresenta um valor igual a 42.6 % e o SOH um valor igual a 34.2 %. Como o percurso é descendente a partir da cota referida

anteriormente, isto é, do início da Rua Pedro Hispano até ao campus do ISEC, a energia é recuperada através da travagem regenerativa, que permite ao veículo chegar ao final do percurso com um valor de energia armazenada na bateria igual a 7.68 kWh, um valor de SOC igual a 43.1 % e um valor de SOH igual a 34.2 %.

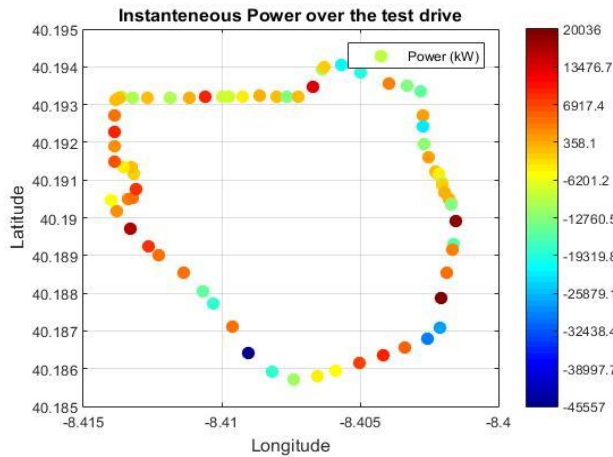


Figura 70 – Potência em função da posição (percurso 1).

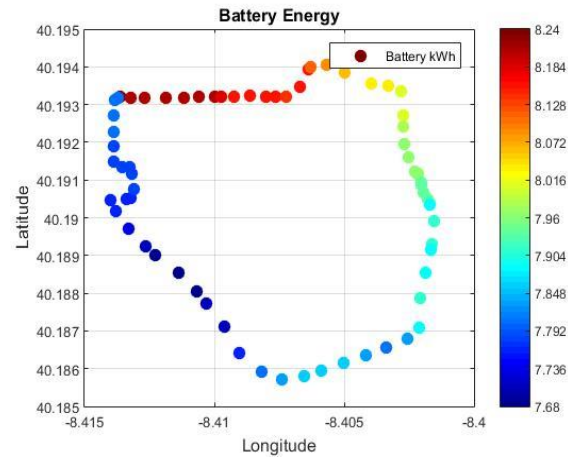


Figura 71 – Energia em função da posição (percurso 1).

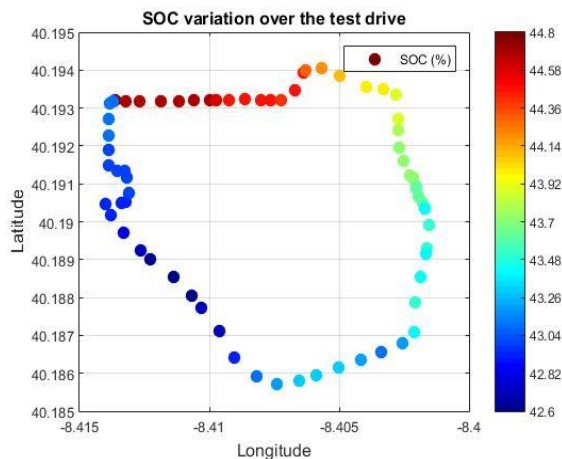


Figura 72 – SOC em função da posição (percurso 1).

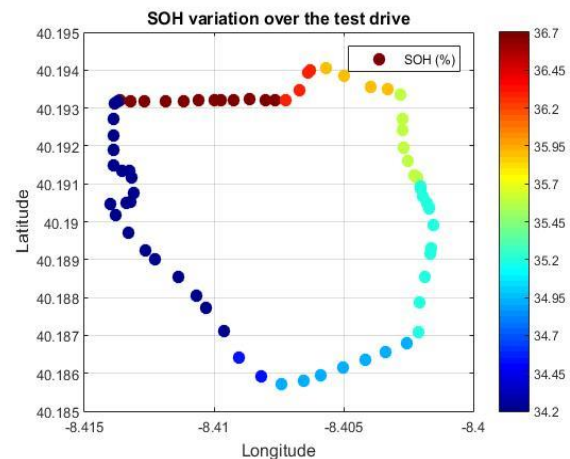


Figura 73 – SOH em função da posição (percurso 1).

O percurso representado nas figuras 74 à 77, foi realizado dentro da cidade de Coimbra. Teve início na Avenida Fernão de Magalhães, designadamente na rotunda da Casa do Sal, passou pela Avenida Emídio Navarro, de seguida pela Avenida Lousã, pela Avenida Cónego Urbano Duarte e tendo finalizado na Rua Pedro Hispano, perfazendo uma distância total de 3.6 km. Dos dados recolhidos verifica-se que o ponto de partida situa-se a 13 m de altitude, sendo o ponto de chegada localizado na cota mais elevada do percurso a uma altitude de 32.5 m. O veículo inicia o percurso com um valor de energia armazenada nas baterias igual a 8.88 kWh, um valor de SOC igual a 47.2 % e um valor de SOH igual a 39.5 %.

Este percurso típico de cidade, afetado pelo trânsito, em que o valor da potência instantânea está constantemente a variar, como é possível observar através da figura 74. Ao longo do percurso verifica-se que a potência instantânea varia entre os 87 kW fornecidos pelas baterias, nas acelerações mais pronunciadas, sendo que nas situações de travagem regenerativa durante uma descida na Avenida Cónego Urbano Duarte, observa-se valores de 32 kW de energia recebida pela bateria, em que é alcançado uma altitude de 10 m no final desta. No fim do percurso, na Rua Pedro Hispano, o veículo tem um valor de energia armazenada nas baterias igual a 8.24 kWh, um valor de SOC igual a 44.8 % e um valor de SOH igual a 36.7 %.

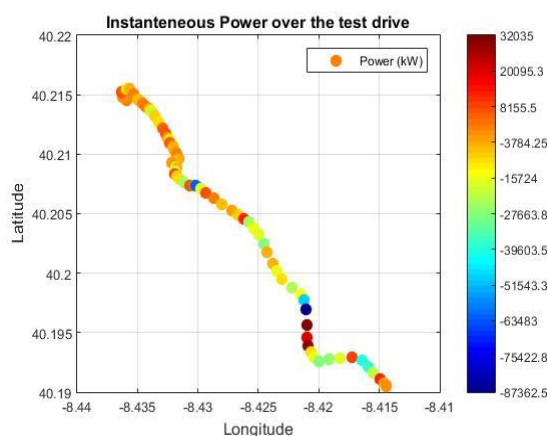


Figura 74 – Potência em função da posição (percurso 2).

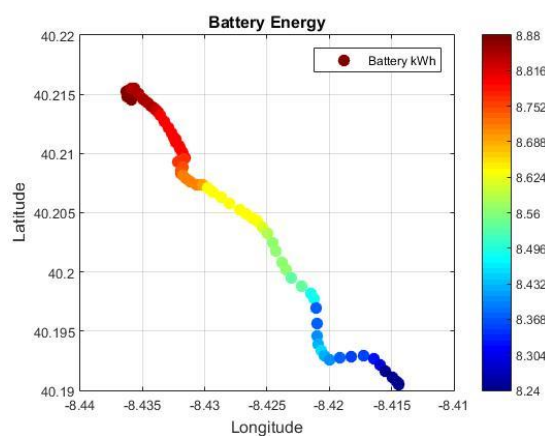


Figura 75 – Energia em função da posição (percurso 2).

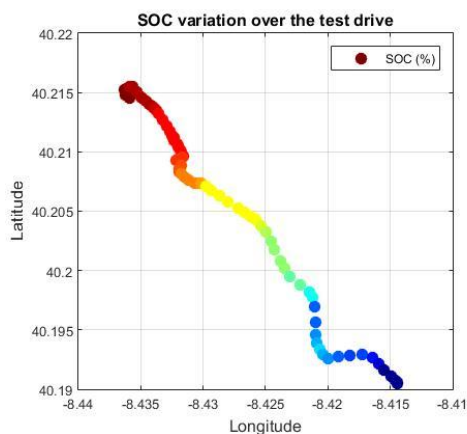


Figura 76 – SOC em função da posição (percurso 2).

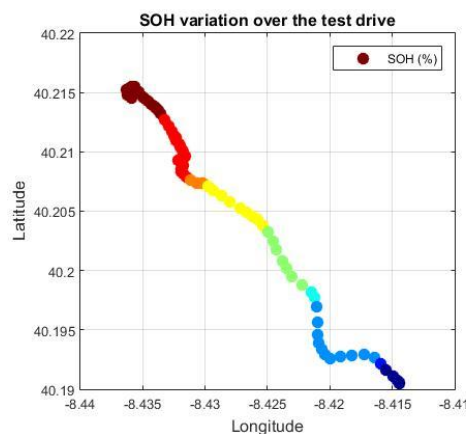


Figura 77 – SOH em função da posição (percurso 2).

O percurso seguinte apresentado nas figuras 78 à 81 é o percurso inverso ao apresentado anteriormente. Durante o percurso é realizado um *logging* ao longo de 3,6 km com início na Rua Pedro Hispano, pela Avenida Cónego Urbano Duarte, a Rua do Brasil, a Avenida Emídio Navarro e por fim na Avenida Fernão de Magalhães.

Como o percurso foi efetuado em hora de ponta, é possível observar apenas uma potência fornecida pelas baterias de aproximadamente 10 kW, e uma potência fornecida pela travagem regenerativa igual a 23 kW que aumenta o valor da energia armazenada na bateria. Este valor é obtido na saída da ponte da Europa para a Avenida Cónego Urbano Duarte, sendo este um percurso descendente. A partir da Rua do Brasil até a Avenida Fernão de Magalhães, o percurso é relativamente plano.

O veículo inicia o seu percurso com um valor de energia armazenada igual a 7.68 kWh, um valor de SOC igual a 42.9 % e um valor de SOH igual a 34.2 %. Como durante o percurso o veículo se encontra num ambiente de pára-arranca, é de notar, na Avenida Emídio Navarro o valor da potência fornecido pelas baterias é residual e cada travagem contribui para o aumento da energia armazenada na bateria. No fim do percurso, na Avenida Fernão de Magalhães, o veículo termina com um valor de energia armazenada na bateria igual a 7.04 kWh, um valor de SOC igual a 40.0 % e um valor de SOH igual a 31.3 %.

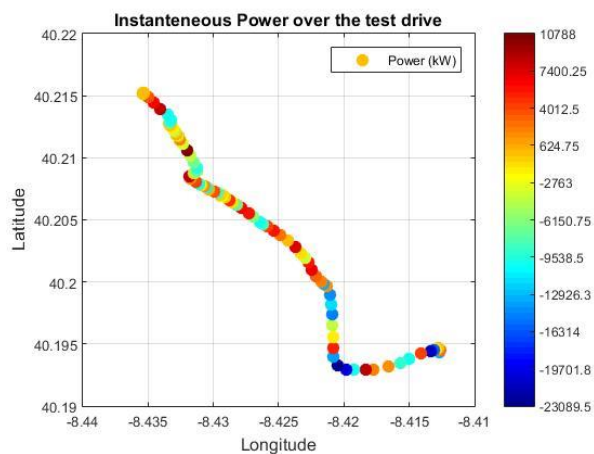


Figura 78 – Potência em função da posição (percurso 3).

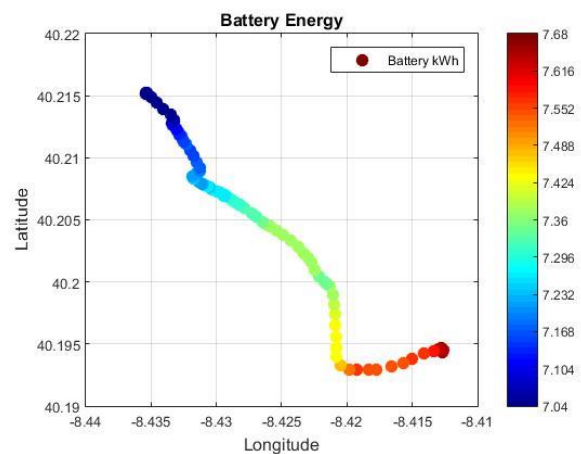


Figura 79 – Energia em função da posição (percurso 3).

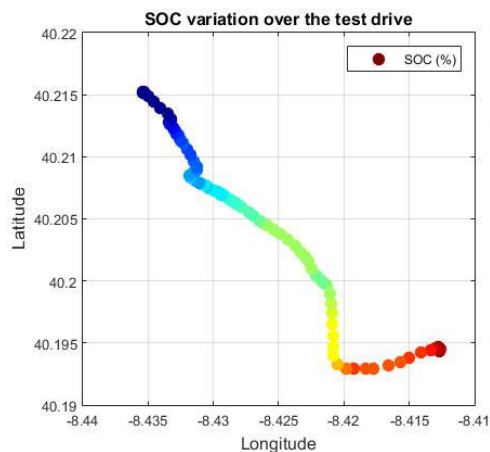


Figura 80 – SOC em função da posição (percurso 3).

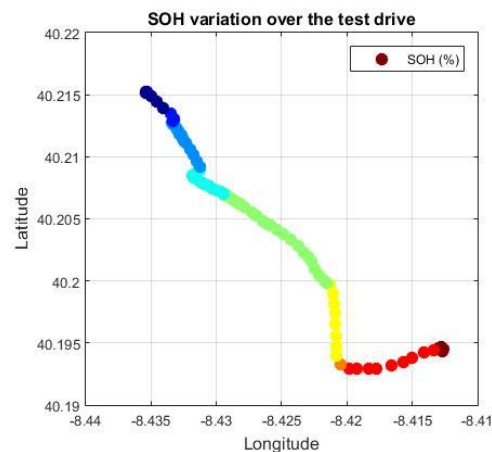


Figura 81 – SOH em função da posição (percurso 3).

O percurso seguinte cujos valores se encontram representados nas figuras 82 à 85, foi realizado um *logging* ao longo de 6 km com início na Avenida Fernão de Magalhães, designadamente na rotunda da Casa do Sal, e fim na Avenida Elísio de Moura. O ponto de partida situa-se a 13 m de altura relativamente ao nível médio do mar sendo o ponto de chegada localizado a 79.5 m de altitude.

O percurso é moderadamente inclinado desde o ponto de partida até ao “Alto do Tovim” localizado a 109.3 m de altitude. A partir desse ponto até ao fim da Avenida Elísio de Moura o percurso é descendente. Neste percurso o valor da energia armazenada na bateria varia entre os 4.4 kWh no ponto de início até aos 3.52 kWh no ponto de chegada. No ponto de cota mais elevada no “Alto do Tovim” a energia das baterias apresenta o valor mais reduzido igual a 3.44 kWh. Desse ponto até ao fim do percurso o VE regenera energia aumentando dessa forma o valor da energia armazenada.

O consumo de energia por parte do VE ao longo do percurso foi monitorizado a partir dos valores de potência instantânea os quais foram, por sua vez obtidos através dos valores da tensão e da corrente da bateria. Esses valores foram utilizados no cálculo do valor da potência instantânea fornecida / absorvida pela bateria ao longo do percurso. Na parte inicial do percurso o valor da potência instantânea varia de 0 a 20 kW. Quando o VE chega à rotunda ele regenera energia, sendo que a potência instantânea é igual a 44 kW. As acelerações mais pronunciadas e os percursos em estrada inclinada conduzem a valores de potência instantânea próximos ao valor limite disponível pelo VE igual a 87 kW.

Para além do valor da energia armazenada na bateria é igualmente possível obter o valor do SOC durante o percurso. Os valores medidos variam entre os 28.7 %, no início do percurso, até aos 24.3 % no local de destino. Mais uma vez observa-se que no ponto de cota mais elevada, no “Alto do Tovim” o valor de SOC assume o valor mais baixo do percurso igual a 23.6 %.

Relativamente ao valor de SOH o valor inicial é igual a 19.6 % sendo que a semelhança do SOC o valor mais baixo de é obtido no ponto de cota mais elevada, no “Alto do Tovim” atingindo nesse ponto um valor igual a 15.3 %. A partir deste ponto até ao fim do percurso verifica-se uma descida acentuada, o que em combinação com a travagem regenerativa, resulta num pequeno aumento do seu valor para 15.7 %.

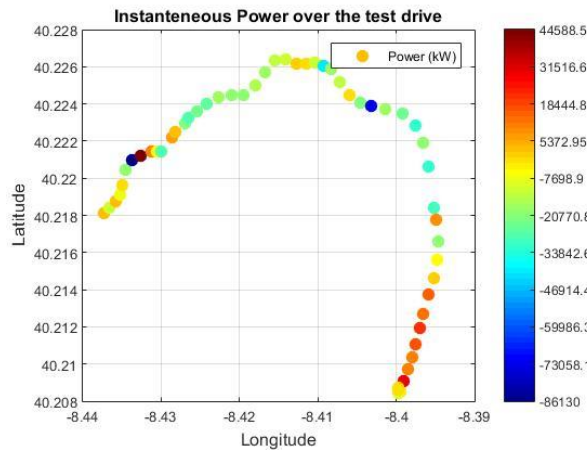


Figura 82 – Potência em função da posição (percurso 4).

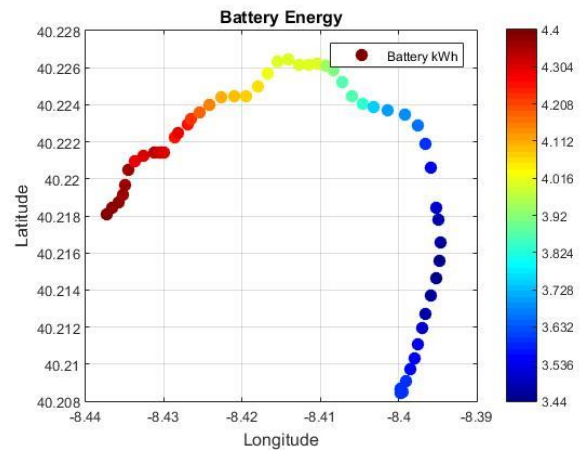


Figura 83 – Energia em função da posição (percurso 4).

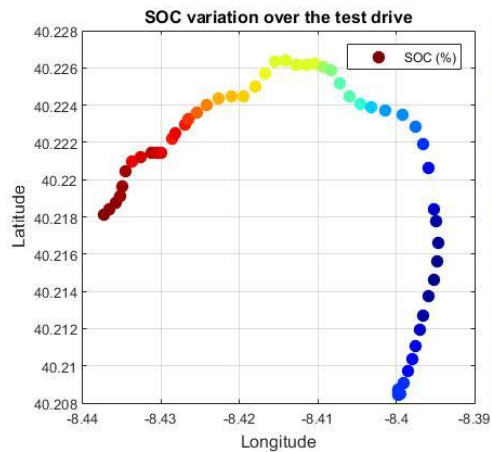


Figura 84 – SOC em função da posição (percurso 4).

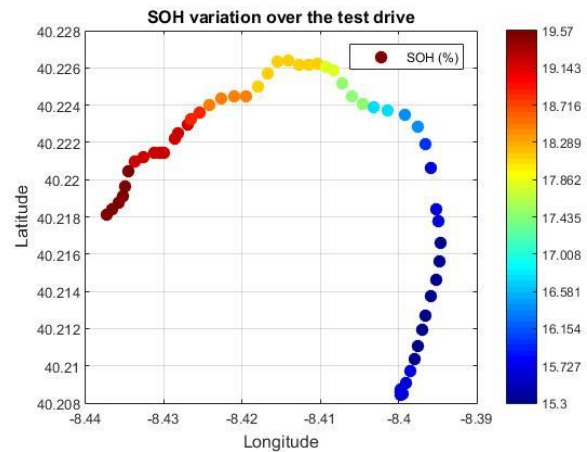


Figura 85 – SOH em função da posição (percurso 4).

Os resultados relativos ao percurso estão representados nas figuras 86 à 89, o inverso ao apresentado anteriormente. O comprimento do percurso totaliza uma distância de 6 km, no qual é realizado um *logging*. Este tem início na Avenida Elísio de Moura e fim na Avenida Fernão de Magalhães.

O veículo inicia o percurso com uma energia armazenada nas baterias igual a 3.52 kWh, um valor SOC igual a 24.2 % e um valor de SOH igual a 15.7 %. O percurso é agora inclinado desde o ponto de partida até ao “Alto do Tovim”, localizado a 109.3 m de altitude. Na figura 82, é possível observar que é nessa parte do percurso que é requerido o maior valor de potência fornecida pelas baterias com o valor igual a 31 kW. A energia armazenada alcança nesse ponto o valor igual a 3.2 kWh, o qual é mantida durante este percurso descende, devido a travagem regenerativa que compensa as poucas acelerações efetuadas durante esta parte do percurso.

No fim do percurso, na Avenida Fernão de Magalhães, o veículo possui um valor de energia armazenada nas baterias igual a 3.12 kWh, um valor de SOC igual a 22.2 % e um valor de SOH igual a 13.9 %. Devido ao valor baixo do SOC, o VE apresenta no seu painel de instrumentos uma informação relativamente ao estado da bateria a qual se encontra num nível de SOC baixo e para dirigir ao posto de carregamento mais próximo.

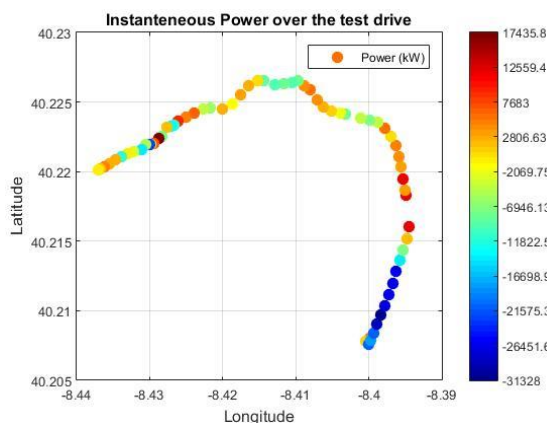


Figura 86 – Potência em função da posição (percurso 5).

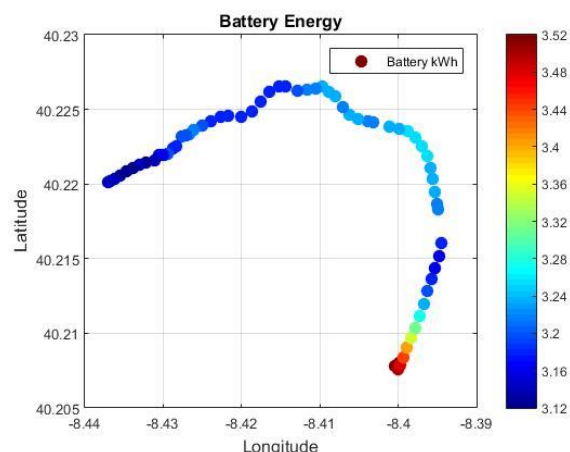


Figura 87 – Energia em função da posição (percurso 5).

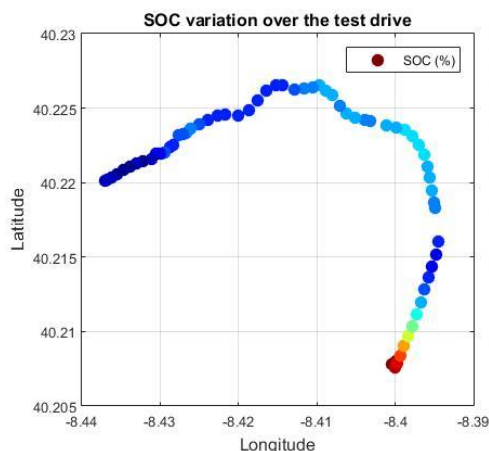


Figura 88 – SOC em função da posição (percurso 5).

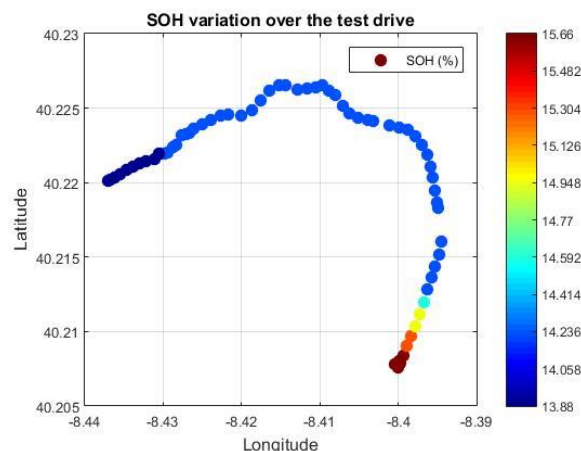


Figura 89 – SOH em função da posição (percurso 5).

O percurso seguinte ao longo de 7.1 km maioritariamente na IC2, teve início na Avenida Fernão de Magalhães em Coimbra e fim no Retail Park em Taveiro. Este percurso encontra-se representado nas figuras 90 à 93.

O ponto de partida situa-se a 19.4 m de altitude e o ponto de chegada localizado a 23.7 m de altitude. O percurso é inicialmente plano, tendo uma ligeira inclinação no acesso do IC2, ponto com cota 24.30 m de altitude. O veículo inicia o percurso com uma energia armazenada nas baterias igual a 7.04 kWh, um SOC igual a 39.8 % e um SOH igual a 31.32 %.

Uma vez que o percurso realizado na IC2 foi efetuado a uma velocidade constante, a potência fornecida pelas baterias é maior no início da viagem, quando o veículo necessita de ganhar velocidade e no ponto mais alto do percurso antes de Taveiro, com uma cota de 43.7 m, onde é atingido um valor igual a 40 kW. Durante o percurso verifica-se ainda uma regeneração máxima igual a 13 kW em zonas com trânsito denso e no percurso descente, após o ponto de cota máxima do percurso, o que resulta num ligeiro aumento da energia armazenada nas baterias. No ponto de chegada verifica-se que o valor de energia armazenada nas baterias é igual a 5.36 kWh, um valor de SOC igual a 33.5 % e um valor de SOH igual a 23.8 %.

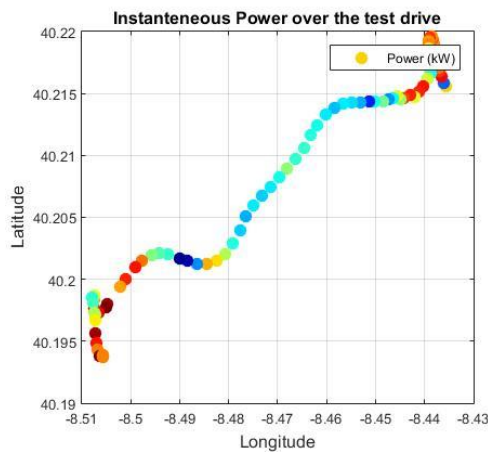


Figura 90 – Potência em função da posição (percurso 6).

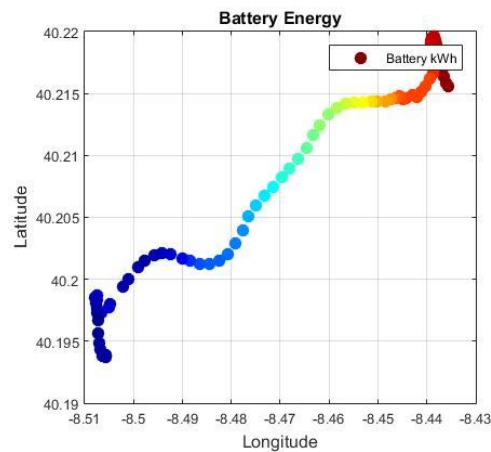


Figura 91 – Energia em função da posição (percurso 6).

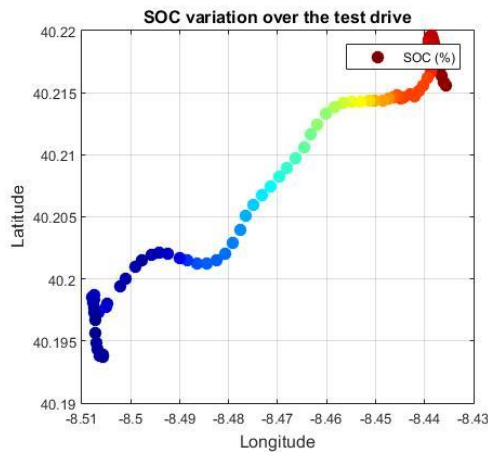


Figura 92 – SOC em função da posição (percurso 6).

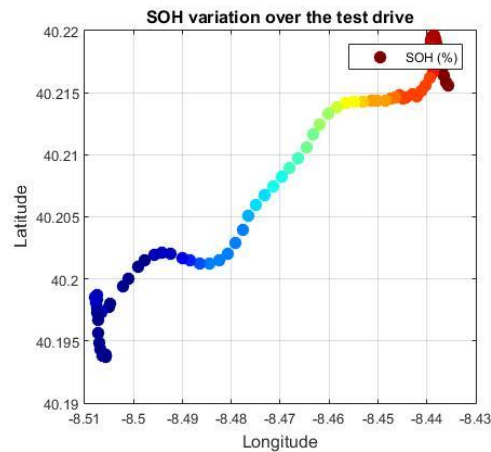


Figura 93 – SOH em função da posição (percurso 6).

O percurso representado nas imagens 94 à 97 corresponde ao percurso inverso apresentado anteriormente. Ao longo do percurso, foi realizado um *logging* de 7.1 km com início no Retail Park em Taveiro e fim na Avenida Fernão de Magalhães em Coimbra, com os valores de altitude mencionados anteriormente.

No início deste percurso com VE dispunha de um valor de energia armazenada nas baterias igual a 5.36 kWh, um valor de SOC igual a 33.5 % e um valor de SOH igual a 23.84 %. O percurso teve início com o acesso à IC2 e de seguida uma subida até ao ponto de cota igual a 43.7 m, sendo que nesta parte do percurso é atingido o valor máximo de potência fornecida pela bateria igual a 31 kW.

Na parte descendente do percurso é efetuada uma travagem regenerativa que fornece um valor de potência instantânea à bateria igual a 21 kW. Como o restante percurso até ao destino é plano e realizado a uma velocidade constante é possível observar na figura 94, que a potência necessária para mover o veículo é baixa. No fim do percurso, na Avenida Fernão de Magalhães, o veículo dispõe de um valor igual a 4.48 kWh de energia armazenada nas baterias, um valor de SOC igual a 29.1 % e um valor de SOH igual a 19.93 %.

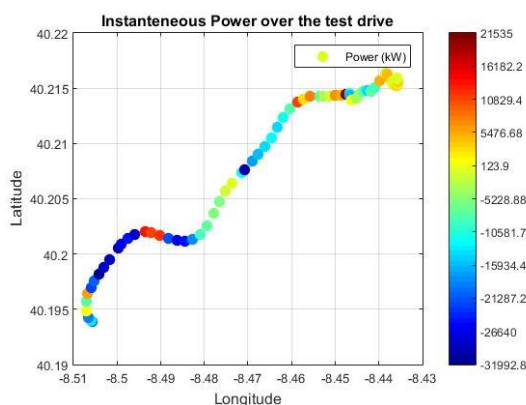


Figura 94 – Potência em função da posição (percurso 7).

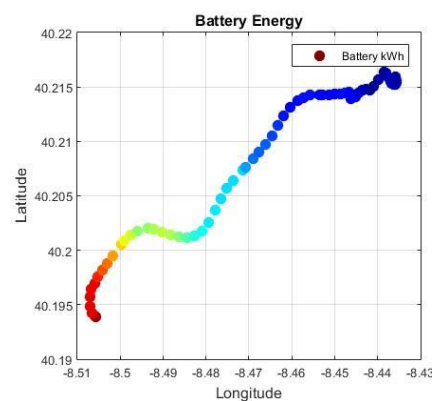


Figura 95 – Energia em função da posição (percurso 7).

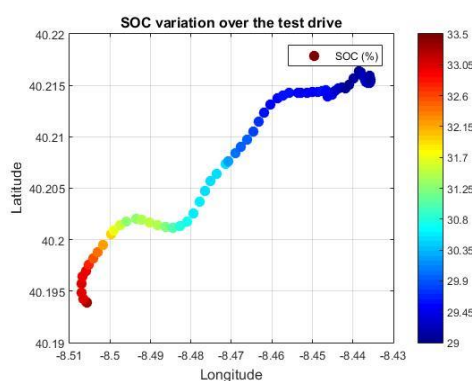


Figura 96 – SOC em função da posição (percurso 7).

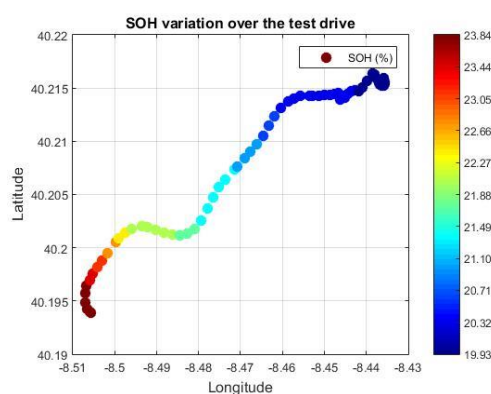


Figura 97 – SOH em função da posição (percurso 7).

5.2.1. Análises da viabilidade económica do V2G

Esta secção apresenta uma análise de viabilidade económica da implementação do conceito V2G, que tem como objetivo maximizar o lucro resultante da utilização das baterias de um VE, baseado nos preços de energia elétrica do setor residencial.

No cenário considerado o custo do carregamento das baterias depende do preço da energia, expresso em €/kWh. Adicionalmente é assumido que o VE dispõe de um conector DC que possibilita a transferência de energia do veículo para a rede através de um inversor bidirecional, sendo esta vendida nos períodos mais vantajosos do ponto vista económico.

Em Portugal, o mercado de energia é regulado, sendo o preço da energia dependente do plano tarifário selecionado, da hora do dia, do dia da semana, do mês do ano e do valor da potência contratada ao operador de rede elétrica. Nos cálculos efetuados considerou-se o valor de potência contratada igual a 4.6 kVA, o mais comum no segmento residencial. Este valor é apropriado ao carregamento do veículo durante o período da noite proporcionando ainda um valor de reserva de potência para os restantes equipamentos elétricos presentes numa habitação.

A análise efetuada considerou três tarifas distintas do mesmo plano, representadas na tabela 29. Os valores apresentados são baseados num dos planos do operador de rede que atua no mercado liberalizado e que dispõe do maior número de clientes em Portugal. Os preços apresentados não incluem IVA, nem refletem a contribuição do valor da potência contratada.

Tabela 29 – Tarifário utilizado para potência contratada de 3.45 kVA-6.9 kVA.

Simples	Preço da energia (€/kWh)				
	Bi-horário			Tri-horário	
	Fora Vazio	Vazio	Ponta	Cheias	Vazio
0.1555	0.1853	0.0978	0.3047	0.1675	0.0978

Na tarifa simples (plana), o preço da energia é constante durante todo o dia. Esta tarifa não permite qualquer ganho da implementação do conceito V2G. A tarifa bi-horária apresenta um preço da energia mais baixo no período de vazio (22:00-8:00), relativamente às horas de fora de vazio (8:00-22:00) no qual o preço é mais elevado. Finalmente, na tarifa tri-horária os preços são mais elevados durante as horas de ponta (10:30-13:00 e 19:30-21:00); no período de vazio (22:00-8:00) o preço é mais reduzido e, nos restantes períodos, designados por cheias o preço é intermédio entre os preços de ponta e vazio.

O cenário considerado utiliza o Nissan Leaf como plataforma de implementação do conceito V2G. Este possui uma capacidade máxima de armazenamento de energia nas baterias igual a 21 kWh. Assume-se que a capacidade mínima (para preservar as baterias) é 20 % desse valor, logo 4.2 kWh. Quando o valor da carga atinge este limiar, as baterias devem ser recarregadas. Assim sendo, o valor máximo de energia que o veículo pode fornecer à rede durante o dia (períodos mais favoráveis) é igual a 16.8 kWh e corresponde à diferença entre os valores apresentados.

A versão do Nissan Leaf utilizado tem uma autonomia anunciada pelo fabricante de 200 km. No entanto, nos testes realizados obteve-se um valor de consumo médio igual a 0.1396 kWh/km para as condições de trânsito, de condução do veículo e atmosféricas observadas. Este valor de consumo médio traduz-se num valor de autonomia próximo dos 120 km. Os resultados da análise económica basearam-se num cenário no qual, o valor de venda e de compra de energia é igual.

O lucro líquido obtido do carregamento das baterias durante a noite e da venda da energia à rede elétrica durante o dia é de 0.0875 €/kWh (tarifa número 2), 0.2069 €/kWh (tarifa número 3, horário de ponta) e 0.0697 €/kWh (tarifa número 3, cheias) e 0.1043 €/kWh (Tarifa número 3, média ponderada).

Com os valores apresentados, os quais foram utilizados para calcular os custos da energia consumida, da energia restante e do lucro nos períodos do tarifário bi-horário e tri-horário, sendo desta forma simulado cenários distintos, cada um deles correspondente à quantidade de quilómetros que o veículo elétrico necessita de fazer diariamente (ex. de casa para o trabalho e voltar). A tabela 30 apresenta o lucro diário com a venda de energia à rede e compra durante a noite.

Tabela 30 – Lucro realizado durante o dia com a venda de energia a rede.

Lucro diário com a venda de energia a rede							
Cénario	Distância (km)	Consumo de Energia	Energia Restante	Lucro Bi-horário	Lucro Tri-horário		
					Ponta	Cheias	Média Ponderada
A	10	1.396	15.404	1.35 €	3.19 €	1.07 €	1.61 €
B	20	2.792	14.008	1.23 €	2.90 €	0.98 €	1.46 €
C	30	4.188	12.612	1.10 €	2.61 €	0.88 €	1.32 €
D	50	6.980	9.820	0.86 €	2.03 €	0.68 €	1.02 €
E	60	8.376	8.424	0.74 €	1.74 €	0.59 €	0.88 €
F	70	9.772	7.028	0.61 €	1.45 €	0.49 €	0.73 €
G	80	11.168	5.632	0.49 €	1.17 €	0.39 €	0.59 €
H	90	12.564	4.236	0.37 €	0.88 €	0.30 €	0.44 €
I	100	13.960	2.840	0.25 €	0.59 €	0.20 €	0.30 €

A tabela 31 apresenta o lucro realizado durante um mês com 22 dias úteis de trabalho.

Tabela 31 – Lucro realizado durante um mês com a venda de energia a rede.

Lucro mensal com a venda de energia a rede				
Cénario	Lucro Bi-horário	Lucro Tri-horário		
		Ponta	Cheias	Média Ponderada
A	29.65 €	70.12 €	23.62 €	35.34 €
B	26.97 €	63.76 €	21.48 €	32.14 €
C	24.28 €	57.41 €	19.34 €	28.94 €
D	18.90 €	44.70 €	15.06 €	22.53 €
E	16.22 €	38.34 €	12.92 €	19.33 €
F	13.53 €	31.99 €	10.78 €	16.12 €
G	10.84 €	25.64 €	8.64 €	12.92 €
H	8.15 €	19.28 €	6.50 €	9.72 €
I	5.47 €	12.93 €	4.35 €	6.52 €

A tabela 32 apresenta o lucro anual obtido da implementação do conceito V2G, considerando 255 dias de trabalho, com um valor mínimo de 50.48 € (venda no período tri-horário, cheias) e um valor máximo de 812.71 € (venda no período tri-horário, ponta).

Tabela 32 – Lucro anual com a venda de energia a rede.

Lucro anual com a venda de energia a rede				
Cénario	Lucro Bi-horário	Lucro Tri-horário		
		Ponta	Cheias	Média Ponderada
A	343.70 €	812.71 €	273.78 €	409.65 €
B	312.55 €	739.06 €	248.97 €	372.52 €
C	281.41 €	665.40 €	224.16 €	335.40 €
D	219.11 €	518.10 €	174.54 €	261.15 €
E	187.96 €	444.45 €	149.72 €	224.02 €
F	156.81 €	370.79 €	124.91 €	186.90 €
G	125.66 €	297.14 €	100.10 €	149.77 €
H	94.52 €	223.49 €	75.29 €	112.65 €
I	63.37 €	149.84 €	50.48 €	75.53 €

Através dos dados recolhidos do Nissan Leaf em que se efetuou-se um percurso na cidade de Coimbra, já apresentado anteriormente, em que o veículo inicia o trajeto com um valor de energia armazenada nas baterias igual a 8.88 kWh e termina com um valor igual a 8.24 kWh (figura 98), no fim do percurso é conectado um carregador bidirecional ao VE que através de indicação do veículo permite prestar serviço à rede, seja de consumo ou fornecimento de energia.

O veículo é desconectado da rede com 7.68 kWh, como representado na figura 99, e correspondente a um percurso já apresentado, representando assim uma energia vendida à rede igual a 0.56 kWh. Como a hora em que o veículo vendeu à rede é de ponta, a energia foi vendida a 0.2069 €/kWh (tarifa número 3, horário de pico), criando um ganho ao utilizador de 0.1158 €.

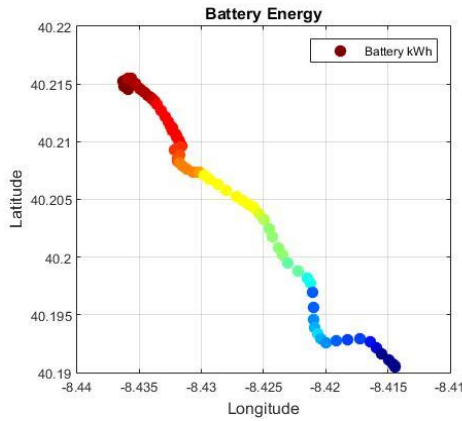


Figura 98 – Percurso de ida.

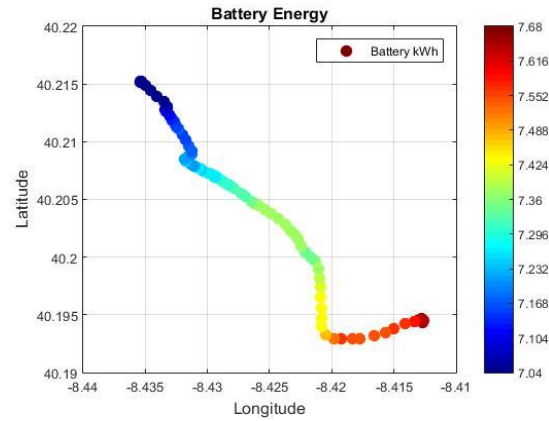


Figura 99 – Percurso de volta.

5.3. Sumário e Conclusões

Este capítulo apresenta o culminar da conjugação do *hardware* e *software* apresentado anteriormente. Este permitiu recolher os dados dos veículos de teste: Nissan Leaf e Chevrolet Volt, de forma a ser possível analisar o comportamento do veículo ao longo do percurso.

O teste de campo com o Chevrolet Volt, permitiu observar o comportamento de um típico PHEV, em que o motor de combustão interna é acionado para manter ou aumentar o SOC. Como o tempo disponível para recolher os dados foi curto, apenas se realizou um percurso, sendo este realizado com a bateria num nível de SOC baixo, o que não possibilitou circular em modo elétrico durante muito tempo.

Os dados recolhidos do Nissan Leaf durante os testes de campo foram superiores ao do Chevrolet Volt, uma vez que o tempo disponível para testes foi maior. Como foram efetuados diversos percursos e com tipologias diferentes, foi possível observar o comportamento do VE ao longo destes. Dos percursos apresentados é de salientar que o VE obtém os melhores resultados quando a velocidade é constante e ambiente de trânsito. A travagem regenerativa é um ponto forte quando comparado a um veículo com motor de combustão interna, visto que a energia que é produzida durante a travagem num veículo de combustão interna é desperdiçada em calor, sendo que num veículo com travagem regenerativa esta é armazenada na bateria, contribuindo assim para uma maior eficiência.

A análise da viabilidade económica do conceito V2G permitiu concluir que existem benefícios económicos quando as baterias são totalmente carregadas durante a noite, quando os preços da energia elétrica são menores. A energia remanescente, que está armazenada nas baterias, é vendida durante o dia, permitindo assim um maior benefício quando a energia é vendida nas horas de pico.

Podemos também concluir que, para pequenos percursos, os lucros são maiores, sendo que, para percursos diários acima de 80 km não é económico nem tecnicamente recomendado a venda da energia remanescente das baterias para a rede elétrica. No entanto, não se pode esquecer que, nestas condições, as baterias estão sujeitas a um envelhecimento superior devido aos carregamentos e descarregamentos, sendo que, os lucros obtidos podem ser utilizados no futuro para a substituição das baterias, se necessário.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho de projeto teve como principal objetivo a proposta de uma solução de ICT que permita a implementação do conceito V2G nas futuras redes de energia, usualmente designadas por *smart grids*. A arquitetura apresentada foi concebida tendo em conta as particularidades inerentes ao sistema em análise que compreendem, entre outras, a intrínseca mobilidade dos VE, a capacidade dos mesmos para armazenarem energia elétrica e as assimetrias temporais e variabilidade dos perfis de consumo de energia.

A mobilidade dos veículos tem implicações na solução que se pretende implementar, designadamente, na arquitetura do sistema. Esta deve permitir a comunicação entre o VE e a base de dados através do protocolo de comunicação ISO 15118 quando este se encontra estacionado e/ou em carga, e os recursos das redes celulares existentes quando se encontra em movimento. A solução proposta deve também apresentar níveis de complexidade e perfis de tráfego de informação compatíveis com as limitações das tecnologias utilizadas.

Para a realização dos objetivos anteriormente enunciados foi necessário efetuar, como descrito no capítulo 2, um estudo relativo às características dos veículos elétricos usados nos testes de campo: Nissan Leaf e Chevrolet Volt. A maior limitação destes veículos continua a estar relacionada com as tecnologias subjacentes às baterias usadas.

O elevado peso das baterias presentes nos VE compromete de uma forma inequívoca o seu comportamento dinâmico. No entanto, a sua colocação em pontos específicos pode alterar a localização do centro de massa do veículo dando-lhe maior estabilidade. O nível de desempenho das baterias, descrito pelo valor da densidade de energia por unidade de peso (kWh/kg), apresenta margens de melhoria caso se utilizem tecnologias mais recentes e promissoras. No entanto, a capacidade de descarga e carga das mesmas ainda se encontra muito limitada, sendo que, as melhores soluções ao nível de desempenho ainda não são economicamente viáveis.

Os carregadores analisados, devidas às normas impostas no conector de carregamento, possibilitam uma comunicação com este, sendo que a comunicação com a rede de forma aplicar o conceito V2G apenas implica alteração no carregador. No entanto, as potências atualmente disponibilizadas pelos carregadores apenas estão limitadas pelo veículo ou capacidade da rede.

Os veículos elétricos utilizados nos testes de campo deste projeto foram extremamente importantes na demonstração do conceito que se pretende implementar.

A existência de um elevado número de VE terá implicações significativas na solução a desenvolver tendo em conta o enorme volume de tráfego de informação produzido e a elevada capacidade de processamento necessária à sua realização. O operador de rede necessita de promover a existência de agregadores de forma a conceber uma rede distribuída e dinâmica. As comunicações sem fios terão, neste cenário, grande destaque, visto serem responsáveis pela transmissão da informação para o agregador / operador de rede de forma a este poder prever um consumo ou produção quando o veículo conectar à rede.

Após se terem analisado as possíveis arquiteturas de ICT a implementar neste tipo de sistemas, o passo seguinte compreendeu o desenvolvimento de placas de aquisição de dados relativos ao nível de carga das baterias que se encontram disponíveis nas redes CAN dos referidos VE.

A primeira placa desenvolvida baseada no circuito integrado ELM327 permitiu o acesso à rede CAN do Chevrolet Volt. Esta solução suporta pedidos PID, evitando a utilização de ID específicos. Tendo em conta que o Nissan Leaf é um veículo puramente elétrico e não suporta pedidos por PID, verificou-se que o módulo assente no ELM327 não é agora o mais indicado uma vez que apenas procuramos ID da rede CAN.

Como tal, realizar pedidos ao ELM327 para este comunicar com o controlador CAN apenas adiciona latência e recursos que não são necessários. Desta forma, procedeu-se ao uso da *shield CAN-BUS Sparkfun* para o microcontrolador poder aceder diretamente ao controlador da rede CAN. Como o Nissan Leaf possui três redes CAN, sendo que as necessárias são apenas duas, a CAR CAN e a EV CAN, procedeu-se ao desenvolvimento de uma PCB que suporte a leitura em simultâneo das duas redes CAN, assim como o suporte para o módulo Bluetooth, GPS e *shield Ethernet* de forma a criar uma solução compacta e fiável. A utilização de placas que permitem aceder à rede CAN do veículo é um ponto fundamental e única forma viável de recolher valores dos veículos e posteriormente enviá-los de forma aplicar o conceito V2G.

O projeto realizado resulta do culminar de diversas etapas, que compreenderam:

- ✓ Recolha de artigos e informação relacionada com o projeto a desenvolver;
- ✓ Desenvolvimento de *hardware*, *software* e comunicações necessárias;
- ✓ Criação da placa que permite a leitura de duas redes CAN em simultâneo;
- ✓ Recolha de valores de veículo elétrico e híbrido;
- ✓ Aplicação dos resultados obtidos para implementar o conceito V2G;

- ✓ Desenvolvimento de uma base de dados e interface *web* com o objetivo de oferecer ao utilizador e ao operador de rede, uma forma rápida e eficiente, de aceder a toda a informação relativa ao veículo de forma a implementar o conceito V2G.

6.1. Desenvolvimentos Futuros

O desenvolvimento futuro passa por criar uma solução com a comunicação CAN, comunicação *Wi-Fi* e microcontrolador numa única PCB de forma a oferecer uma solução mais compacta e, possivelmente, mais económica, sendo o ideal a utilização da comunicação 3G/4G que alguns veículos já oferecem.

Será ainda necessário desenvolver um algoritmo de carga para tratar a informação recebida pelo veículo, seja para aplicar o conceito V2G numa casa, numa empresa, ou na rede elétrica.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] I. Cvetkovic, T. Thacker, D. Dong, G. Francis, V. Podosinov, D. Boroyevich, F. Wang, R. Burgos, G. Skutt, and J. Lesko, "Future home uninterruptible renewable energy system with vehicle-to-grid technology," in Proc. of IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, September, 2009.
- [2] Chenye Wu, Hamed Mohsenian-Rad, and Jianwei Huang, "Vehicle-to-grid systems: ancillary services and communications".
- [3] A. Ghassemi, S. Bavarian, and L. Lampe, "Cognitive Radio for Smart Grid Communications," Proc. of IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Gaithersburg, MD, October 2010.
- [4] R. Ranganathan, R. C. Qiu, Z. Hu, S. Hou, M. P. Revilla, G. Zheng, Z. Chen, and N. Guo, "Cognitive radio for smart grid: theory, algorithms, and security," to appear in International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, 2011.
- [5] P. P. Parikh, M. G. Kanabar, and T. S. Sidhu, "Opportunities and challenges of wireless.
- [6] Bonneville Power Authority, "Comments - Request for Information on Smart Grid Communications Requirements," [http://www.gc.energy.gov/documents/Bonneville Power Comments CommsReqs.pdf](http://www.gc.energy.gov/documents/Bonneville_Power_Comments_CommsReqs.pdf), 2010.
- [7] Department of Energy, "Communications Requirements of Smart Grid Technologies," [http://www.gc.energy.gov/documents/Smart Grid Communications](http://www.gc.energy.gov/documents/Smart_Grid_Communications). [Acedido em 2015] .
- [8] M. Souryal, C. Gentile, D. Griffith, D. Cypher, and N. Golmie, "A Methodology to Evaluate Wireless Technologies for the Smart Grid," Proc. of IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Gaithersburg, MD, October 2010.
- [9] W. Kempton and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue," Journal of Power Sources, vol. 144, no. 1, pp. 268–279, 2005.
- [10] E. Lakervi and E. J. Holmes, Electricity distribution network design, Peter Peregrinus Ltd., 1998.
- [11] <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanalTodosFornecPtCont.aspx>. [Acedido em 2015].
- [12] A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the future," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 7, no. 2, pp. 52–62, Março 2009.

-
- [13] H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, and A. Leon-Garcia, "Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 3, pp. 320–331, Dezembro 2010.
- [14] S. Caron and G. Kesidis, "Incentive-based energy consumption scheduling algorithms for the smart grid," *Proc. of IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Gaithersburg, MD, October 2010.
- [15] W. Kempton and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy," *Journal of Power Sources*, vol. 144, no. 1, pp. 280–294, Aug. 2009.
- [16] S. Han, S. Han, and K. Sezaki, "Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 65–72, June 2010.
- [17] W. Kempton, V. Udo, K. Huber, K. Komara, S. Letendre, S. Baker, D. Brunner, and N. Pearre, "A test of vehicle-to-grid (V2G) for energy storage and frequency regulation in the PJM system," novembro, 2008.
- [18] M. Singh, I. Kar, and P. Kumar, "Influence of EV on grid power quality and optimizing the charging schedule to mitigate voltage imbalance and reduce power loss," in *Proc. of International Power Electronics and Motion Control Conference*, Setembro 2010.
- [19] M. C. Kisacikoglu, B. Ozpineci, and L. M. Tolbert, "Examination of a PHEV bidirectional charger system for V2G reactive power compensation," in *Proc. of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Fevereiro 2010.
- [20] J. Zhong and K. Bhattacharya, "Toward a competitive market for reactive power," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, no. 4, pp. 1206–1215, Novembro 2002.
- [21] P. Frias, T. Gomez, and D. Soler, "A reactive power capacity market using annual auctions," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 1458–1468, Agosto 2008.
- [22] Y. Tang, H. Song, F. Hu, and Y. Zou, "The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services," *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 5, pp. 1500–1509.
- [23] W. Kempton and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue," *Journal of Power Sources*, vol. 144, no. 1, pp. 268–279.
- [24] Chenye Wu, Hamed Mohsenian-Rad, and Jianwei Huang, "Vehicle-to-grid systems: ancillary services and communications".
-

- [25] C. Wu, H. Mohsenian-Rad, and J. Huang, "Vehicle-to-aggregator interaction game," submitted to IEEE Transactions on Smart Grid, 2011.
- [26] Y. Tang, H. Song, F. Hu, and Y. Zou, "The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services," *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 5, pp. 1500–1509, 2010.
- [27] N. Belonogov, S. Viljainen, and J. Partanen, "Load control on the customer's premises: conflict of interests between residential customer, retailer, and network company," submitted to IEEE Transactions on Smart Grid, 2011.
- [28] S. Kamboj, K. S. Decker, K. Trnka, N. Pearre, C. Kern, and W. Kempton, "Exploring the formation of electric vehicle coalitions for vehicle-to-grid power regulation," in *Proc. of AAMAS Workshop on Agent Technologies for Energy Systems (ATES 2010)*, October 2010.
- [29] Guarnieri, M. (2012). "Looking back to electric cars". *Proc. HISTELCON 2012 - 3rd Region-8 IEEE HISTory of Electro - Technology CONFerence: The Origins of Electrotechnologies*.
- [30] "Automobile", <http://www.britannica.com/technology/automobile#ref=ref918099>. [Acedido em 2015].
- [31] Kirsch, David A. (2000). *The Electric Vehicle and the Burden of History*. New Brunswick, New Jersey, and London: Rutgers University Press. pp. 153–162. ISBN 0-8135-2809-7.
- [32] Matthe, Roland; Eberle, Ulrich. "The Voltec System - Energy Storage and Electric Propulsion".
- [33] Bellis, M. (2006), "The Early Years", *The History of Electric Vehicles*, About.com.
- [34] "Escaping Lock-in: the Case of the Electric Vehicle". [Acedido em 2015].
- [35] "We have begun regular production of the Tesla Roadster", Tesla Motors.
- [36] "Renault-Nissan Alliance Sells Its 250,000TH Electric Vehicle" (Press release). Paris/Yokohama: Renault-Nissan Alliance.
- [37] "Quick Comparison: 2011 Nissan Leaf vs. 2012 Mitsubishi i-MiEV". *Motor Trend*. 2010-08-03. [Acedido em 2015].
- [38] John Voelcker (2013-01-09). "2013 Nissan Leaf: Longer Range, Faster Charging, Leather Seats, And More: All The Upgrades". *Green Car Reports*.
- [39] Nissan. "The new car: features and specifications". Nissan USA.

-
- [40] "13 Key Questions and Answers about Nissan Leaf Battery Pack and Ordering". HybridCars.com. 2010-05-27. [Acedido em 2015].
- [41] "The Age Of Electric Motoring Begins In Europe". Nissan News Room. [Acedido em 2015].
- [42] Eric Loveday. "Nissan pegs Leaf range between 47 and 138 miles, individual results may vary". AutoblogGreen. [Acedido em 2015].
- [43] Christine Tierney. "Quake's effects may delay U.S.-built Leaf". Detroit News. [Acedido em 2015].
- [44] Mike Colias. "EVs rev up for Act 2". Automotive News. [Acedido em 2015].
- [45] Philippe Crowe. "European-Specific Nissan Leaf To Be Unveiled In Geneva". HybridCars.com. [Acedido em 2015].
- [46] David Shepardson. "Nissan to debut improved Leaf in December". The Detroit News. [Acedido em 2015].
- [47] Alex Nishimoto. "2013 Nissan Leaf Gets Projected Range of 75 Miles, 84 Miles by Old Standard". Motor Trend. [Acedido em 2015].
- [48] "Tokyo Electric Power Licenses Aker Wade to Build Level III Fast Chargers". Green Car Congress. 2010-01-15. [Acedido em 2015].
- [49] Chuck Squatriglia. "Nissan Turns Over An Electric Leaf". Wired News. [Acedido em 2015].
- [50] U.S. Department of Energy and U.S. Environmental Protection Agency (2015). "Most Fuel Efficient Cars by EPA Size Class (including electric vehicles)".
- [51] "2011 Volt Specs and Features". Chevrolet. General Motors Company. 2011. Archived from the original on 2011-02-23. [Acedido em 2015].
- [52] "Volt's Revolutionary Voltec System Delivers Efficiency with Performance". Holden Australia (Press release). Holden Ltd. 2011-12-09. [Acedido em 2015].
- [53] Voelcker, John. "2013 Chevy Volt Gets 38-Mile Electric Range, Higher 98-MPGe Rating". Green Car Reports. [Acedido em 2015].
- [54] "Chevrolet Volt Battery Pack Carries Standard Eight-Year, 100,000-Mile Warranty". Green Car Congress. [Acedido em 2015].
- [55] "Why the Volt Requires Premium Gasoline". GM-Volt. [Acedido em 2015].

- [56] "Chevrolet Volt: Engineered for Everyday Life". General Motors. [Acedido em 2015].
- [57] Mayersohn, Norman. "Sorting Myth From Fact as Volt Makes Its Debut". The New York Times. [Acedido em 2015].
- [58] "Volt receives EPA ratings and label: 93 mpg-e all-electric, 37 mpg gas-only, 60 mpg-e combined". Green Car Congress. BioAge Group. [Acedido em 2015].
- [59] U. S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy. "2013 and 2014 and 2015 Chevrolet Volt". www.Fueleconomy.gov. [Acedido em 2015].
- [60] Arent, Torben. "Opels miljøbil klar: 83 km/l" (in Danish). United Car Owners. Retrieved 2011-10-18. Title translation: Opel's eco-car ready: 83 km/L.
- [61] Finn, Bernard S. "Origin of Electrical Power". National Museum of American History. [Acedido em 2015].
- [62] Institute and Museum of the History of Science. "Trough Battery". [Acedido em 2015].
- [63] Calvert, James B. (2000). "The Electromagnetic Telegraph". [Acedido em 2015].
- [64] Avicenne Conf., Nice 2008, M.A. Fetcenko/ECD
- [65] "Batterien-Absatzstatistik 2008" [Battery Sales Statistics 2008] (PDF) (in German). INOBAT (the Swiss interest organisation for battery disposal). p. 2. [Acedido em 2015].
- [66] Bullis, Kevin. "Old Battery Type Gets an Energy Boost". Technology Review. [Acedido em 2015].
- [67] Fetcenko, Michael. Ovonic NiMH – Strong Now, Room for Growth (PDF). The 11th International Power Supply Conference and Exhibition – Avicenne 2009. Ovonic Battery Company. Archived from the original (PDF) on 2010-02-16. [Acedido em 2015].
- [68] "Lithium Ion technical handbook" (PDF). Gold Peak Industries Ltd. November 2003.
- [69] Thackeray, Michael M. "Manganese oxides for lithium batteries." *Progress in Solid State Chemistry* 25.1 (1997): 1-71.
- [70] Seyed Mohammad Rezvanizani, Jay Lee, Zongchung Liu, and Yan Chen,. "Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility," *Journal of Power Sources*.
- [71] Society of Automotive Engineers; Craig B. Toepfer. "SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, SAE J1772, REV. MONTH01" (DOC). California Air Resources Board. [Acedido em 2015].

-
- [72] Gery Kissel, SAE J1772 Task Force Lead. "SAE J1772 Update For IEEE Standard 1809 Guide for Electric-Sourced Transportation Infrastructure Meeting" (PDF). SAE International. [Acedido em 2015].
- [73] Anro Mathoy. "Definition and implementation of a global EV charging infrastructure" (PDF). BRUSA Elektronik. "SAE J1772 - SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler".
- [74] "Establishment of CHAdeMO Association" (Press release). TEPCO. 2010-03-15. [Acedido em 2015].
- [75] Siler, Steve. "Tesla launches battery-swapping service for two-minute recharging". Yahoo Autos. [Acedido em 2015].
- [76] "2,000 Superchargers". www.teslamotors.com. [Acedido em 2015].
- [77] "CAN History". <http://www.can-cia.de/index.php?id=161>. [Acedido em 2015].
- [78] "Bosch Semiconductor CAN Literature". <http://www.bosch-semiconductors.de>.
- [79] <http://esd.cs.ucr.edu/webres/can20.pdf>. [Acedido em 2015].
- [80] Comparison of Event-Triggered and Time-Triggered Concepts with Regard to Distributed Control Systems A. Albert, Robert Bosch GmbH Embedded World, 2004, Nürnberg
- [81] http://www.pcs.usp.br/~laa/Grupos/EEM/CAN_Bus_Parte_2.html. [Acedido em 2015].
- [82] <http://www.pjvenda.net/papers/can/can-overview-presentation.pdf>. [Acedido em 2015].
- [83] "Directive 98/69/EC of the European Parliament". Publications Office of the European Parliament.
- [84] http://www.cerne-tec.com.br/Intro_CAN.pdf. [Acedido em 2015].
- [85] <http://www.pjvenda.net/papers/can/can-overview-presentation.pdf>. [Acedido em 2015].
- [86] <http://www.iso.org/>. [Acedido em 2015].
- [87] IEEE 802.11 Working Group. IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirement. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Technical report, IEEE, Inc, February 2012.
- [88] Mustafa Ergen. IEEE 802.11 Tutorial. Technical report, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California Berkeley, June 2002.
- [89] "IEEE 802.11p - The Future of Connected Cars". <http://technicafe.blogspot.pt/2013/01/ieee-80211p-future-of-connected-cars.html>. [Acedido em 2015].
-

- [90] “WiMAX Forum”. www.wimaxforum.org. [Acedido em 2015].
- [91] “WiMAX vs Wi-Fi: Diferença entre WiMAX e Wi-Fi” em <http://www.differencebetween.net/technology/communication-technology/difference-between-wimax-and-wi-fi/>. [Acedido em 2015].
- [92] "Bluetooth traveler". www.hoovers.com. [Acedido em 2015].
- [93] "Bluetooth Radio Interface, Modulation & Channels". www.Radio-Electronics.com. [Acedido em 2015].
- [94] <http://programming4.us/mobile/3746.aspx>. [Acedido em 2015].
- [95] “Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?” [Online]. Available: <http://www.infowester.com/bluetooth.php>. [Acedido em 2015].
- [96] Atmel. (s.d.). Atmel AVR 8-bit and 32-bit Microcontrollers - Datasheet. Obtido de <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx?tab=documents>
- [97] “Raspberry Pi Modelo B+,” [Online]. <http://www.raspberrypi.org/products/model-b-plus/>. [Acedido em 2015].
- [98] “Raspberry Pi Modelo 2B,” [Online]. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>. [Acedido em 2015].
- [99] “HC-05 Datasheet,” HC-05, [Online]. Available: http://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/hc_hc-05-user-instructionsbluetooth.pdf. [Acedido em 2015].
- [100] <http://elmelectronics.com/DSheets/ELM327DS.pdf>. [Acedido em 2015].
- [101] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21801d.pdf>. [Acedido em 2015].
- [102] <http://www.farnell.com/datasheets/1897781.pdf>. [Acedido em 2015].
- [103] Why MySQL, [Online]. <https://www.mysql.com/why-mysql/>. [Acedido em 2015].
- [104] “PHP,” [Online]. Available: <http://php.net/>. [Acedido em 2015]. [103] “PHP,” [Online]. Available: <http://php.net/>. [Acedido em 2015].

8. ANEXOS

8.1. Pinout do ELM327

O ELM327 é implementado numa PIC18F2480 no formato DIP – ELM327P – com 28 pinos, representado na figura 100.

Descrição dos pinos:

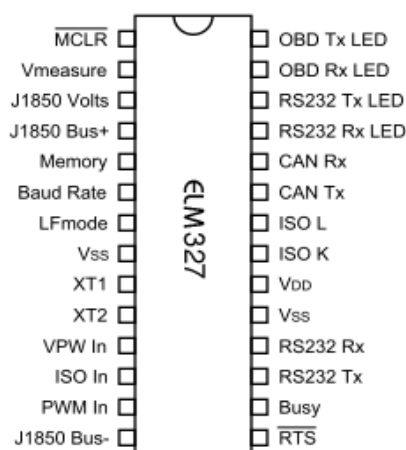


Figura 100 – Esquema de pinos do ELM327

- | | | |
|---|--------------------|--|
| 1 | MCLR | Um pulso de 0 V maior que 2 μ seg faz reset ao ELM, mas como usamos reset por software, este pino é mantido a 5 V. |
| 2 | Vmeasure | Entrada analógica usada para medir tensões entre 0 e 5 V. |
| 3 | J1850 Volts | Saída que controla a tensão fornecida à saída J1850 Bus+. O pino fornece 5 V quando forem necessários os 8 V para o funcionamento do J1850 VPW e 0 V quando forem necessários os 5 V para o funcionamento do J1850 PWM |
| 4 | J1850 Bus+ | Saída ativa a 5 V usada para ativar o barramento J1850 Bus+ num veículo. |
| 5 | Memory | Entrada que controla o estado da memória do ELM. Se estiver a 5 V durante a ativação ou reset do ELM, a memória fica ativa. Se estiver a 0 V a memória fica inativa. A memória pode sempre ser ativada/desativada por software através dos comandos AT M1 e AT M0. |
| 6 | Baud rate | Entrada que controla a largura de banda do interface série (RS232). Se estiver a 5 V durante a ativação ou reset do ELM, a largura de banda é de 38400, ou a que tiver sido definida pelo comando PP 0C. Se estiver a 0 V a largura de banda é sempre 9600. |

7	LFmode	Entrada usada para seleccionar o modo linefeed a ser usado. Se estiver a 5 V durante a ativação ou reset as mensagens enviadas pelo ELM são terminadas com um caracter de carriage return e linefeed. Se estiver a 0 V, as mensagens são terminas apenas com o Carriage Return. Esta opção também pode ser ativa/desativada através do comando AT L1 e AT L0.
8	Vss	Massa comum
9	XT1 e XT2	Cristal oscilador de 4000 MHz. Os condensadores são indispensáveis para o correto funcionamento do cristal.
10		
11	VPW in	Entrada dos sinais de dados do protocolo J1850 VPW. Ativa a 5 V e inativa a 0 V (Bus recessiva)
12	ISO in	Entrada dos sinais de dados dos protocolos ISO 9141 e ISO 14230. Deriva do canal K (ISO-K), e é ativa a 0 V (Bus recessiva).
13	PWM in	Entrada dos sinais de dados do protocolo J1850 PWM. É ativa a 5 V (Bus recessiva).
14	J1850 Bus-	Saída ativa a 5 V usada para ativar o barramento J1850 Bus- num veículo.
15	RTS	“Request To Send”. Entrada usada para interromper a comunicação OBD em processo e enviar um novo comando, se ativa a 0 V.
16	Busy	Saída que indica o estado atual do ELM327. Se estiver a 0 V, o ELM pode receber comandos ASCII. Se estiver a 5 V os comandos estão a ser processados.
17	RS232 TX	Transmissão de dados (série)
18	RS232 RX	Receção de dados (série)
19	Vss	Massa comum
20	Vdd	Alimentação do ELM327. Deve ser sempre o ponto mais positivo no circuito.
21	ISO-K e	Saídas ativas a 5 V usadas para ativar os barramentos dos protocolos ISO 9141 e ISO 14230. Os dados são recebidos pelo pino 12.
22	ISO-L	
23	CAN TX e	Entradas dos dados CAN recebidos do chip MCP2551.
24	CAN RX	
25	LED	Os leds ligados a estas saídas ligam quando é detetada comunicação entre a porta série e o ELM327.
26	RS232 RX e TX	
27	LEDs	Os leds ligados a estas saídas ligam quando é detetada comunicação entre o veículo e o ELM327.
28	OBD RX e TX	

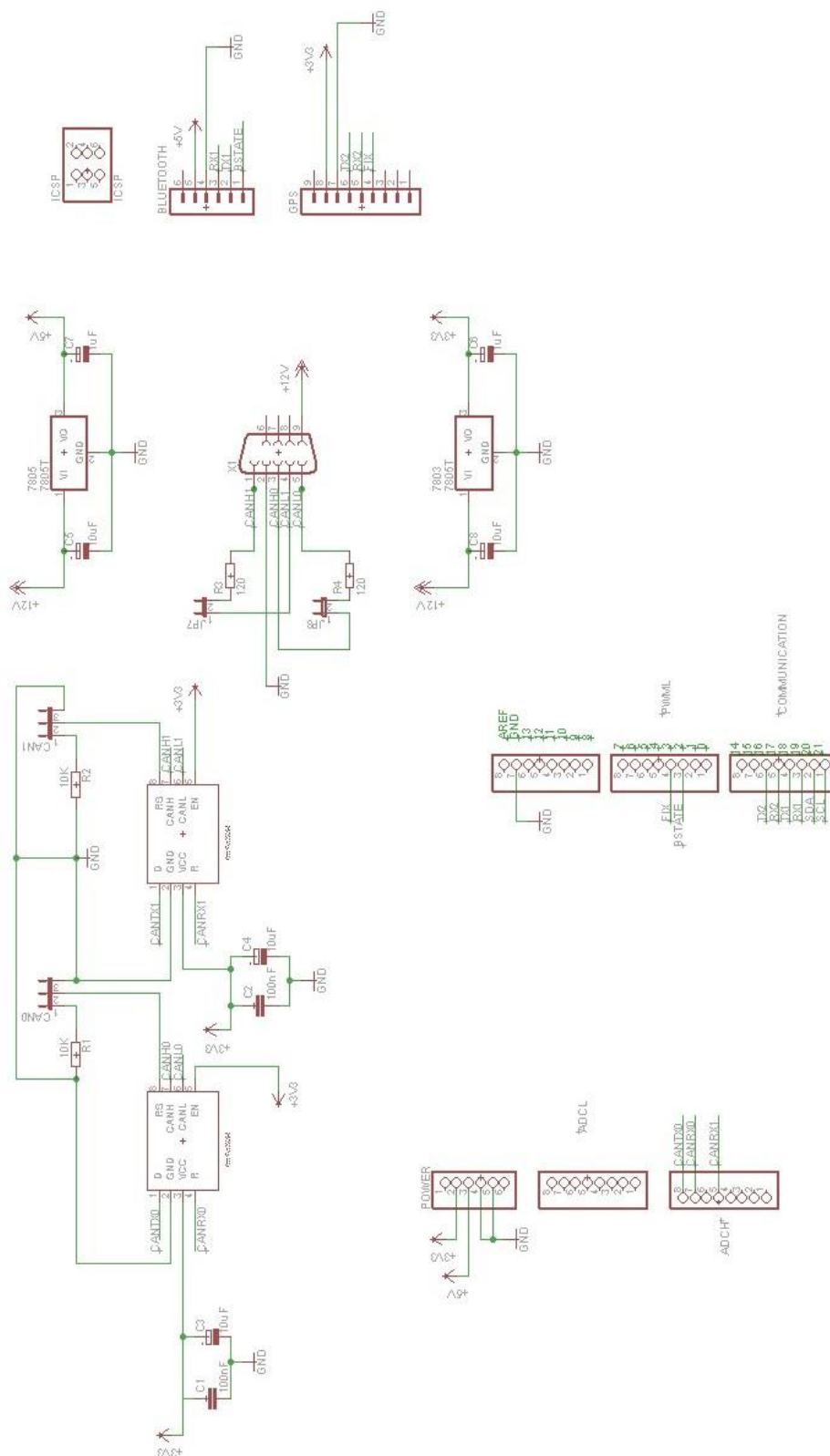


Figura 102 – Esquema PCB ELM327

8.3. Biblioteca SN65HVD234

A biblioteca foi desenvolvida com recurso ao *datasheet* do componente fornecido pelo fabricante (Texas Instruments).

Através do software EAGLE acede-se a File->New->Library, acedendo assim ao editor de bibliotecas. A biblioteca necessita que seja definido o tipo de formato, o símbolo e por a associação entre os dois.

O formato é escolhido através da opção Library->Package (figura 103), neste caso os controladores são em formato SOIC8, que é equivalente no EAGLE ao SO08.

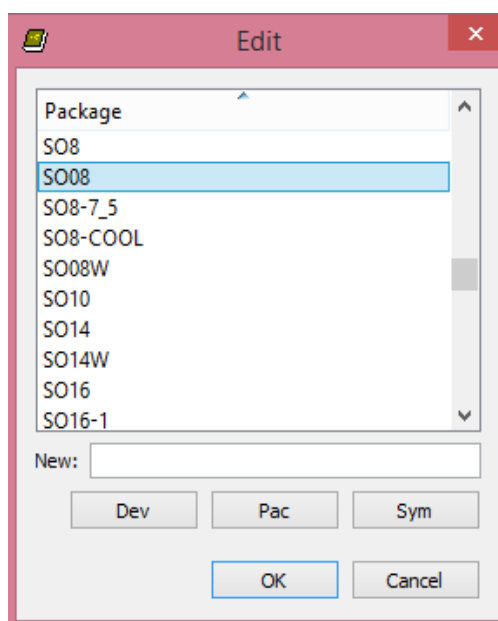


Figura 103 – Menu escolha de símbolo

Com o formato escolhido é necessário criar o símbolo/aspecto que será apresentado no esquemático do EAGLE, para isso acedemos a opção Library->Symbol.

No editor de símbolo (figura 104) é desenhado o aspeto do componente, através das ferramentas disponíveis. Neste caso utiliza-se o *Draw lines* de forma a criar um quadrado, de seguida na linha de comandos digita-se “pin” de forma a desenhar o número de pinos que desejamos, neste caso 8 pinos, sendo possível atribuir um nome a cada pino. No final o símbolo do controlador SN65HVD234 apresenta-se o seguinte aspeto:

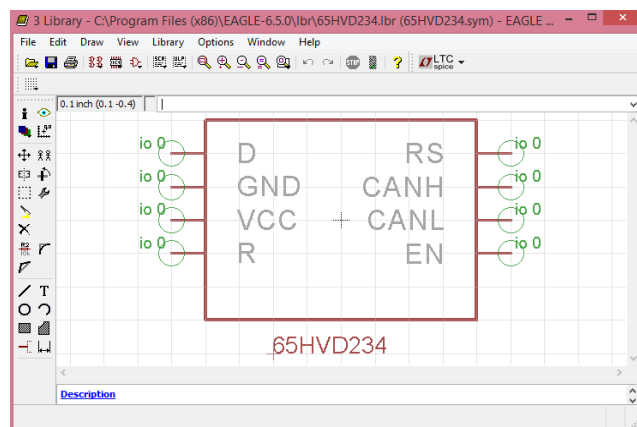


Figura 104 – Desenho do símbolo do controlador SN65HVD234

Por fim é necessário agregar o formato escolhido inicialmente com o símbolo criado, para isso recorre-se a opção *Device*, que se encontra em Library->Device.

No editor encontra-se a opção *connect* (associar os pinos do formato com os pinos do símbolo) representado na figura 105. De forma a identificarmos o controlador para mais tarde ser adicionado ao esquemático, editamos a variável *Variant* colocando o nome SN65HVD234. Por fim, com os pinos associados e o nome definitivo, apresentará o aspeto da figura 106.

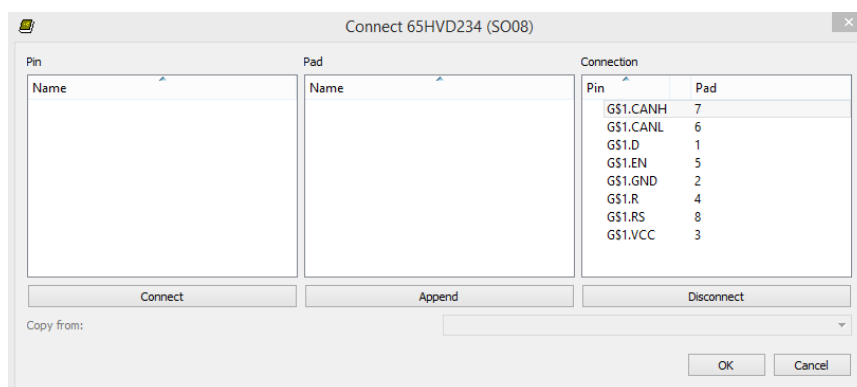


Figura 105 – Associação de pinos do formato com os do símbolo.

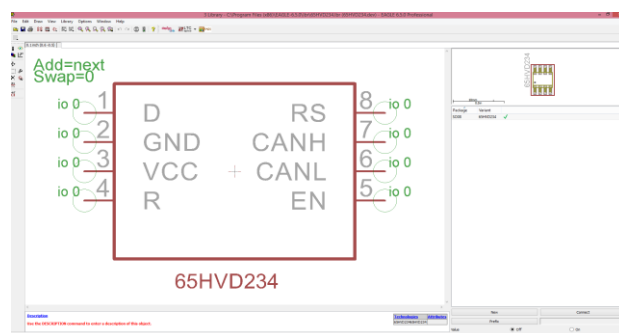


Figura 106 – Símbolo com os pinos identificados.